



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

JUHA TANHUANPÄÄ

**TUTKIMUS VÄRINVAIHDON KANNATTAVUUDESTA KAHDELLA
ERI MAALIJAUHEEN UDELLEENTALTIOINTIMENETELMÄLLÄ**

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Jouni Mattila
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatiotekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 6. helmi-
kuuta 2013

Tiivistelmä

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

TANHUANPÄÄ, JUHA: Tutkimus värinvaihdon kannattavuudesta kahdella eri maalijauheen uudelleentaltiointimenetelmällä

Diplomityö, 50 sivua, 3 liitesivua

Tammikuu 2014

Pääaine: Koneautomaatio

Tarkastaja: Professori Jouni Mattila

Avainsanat: Jauhemaalaus, värinvaihto, pintakäsittely

Jauhemaalaamossa värinvaihto on yksi haastavimmista prosesseista sen hankaluuden ja tuotantoon aiheuttaman seisokin vuoksi. Epäonnistunut värinvaihto voi pahimmassa tapauksessa pilata koko värinvaihdon jälkeisen tuotantoerän. Työn tavoitteena on selvittää, millä jauhemaalain ruiskutusmäärällä värinvaihto on jauhemaalaamossa kannattavaa siten, että ohiruiskutettu jauhemaali kerätään talteen, ja milloin ohiruiskutettua jauhe-maalia ei kannata kerätä talteen uudelleenkäyttöä varten.

Työ jakautuu kahteen osaan: Kirjallisuustutkimusosassa esitellään jauheenruis-kutusprosessi sekä jauhemaalain ohiruiskutukseen ja sen vähentämiseen liittyviä tekijöi-tä. Teoriaosuudessa tutkitaan värinvaihtoa haittaavia asioita sekä esitellään yleisesti käytössä olevat jauheenvarausmenetelmät. Lisäksi esitellään vertailtavat kammiotyypit ja niiden tekniset ominaisuudet. Mittausosiossa tutkitaan maalauskammioden inves-tointien kannattavuutta pitoajan sekä vaaditun vuosituoton perusteella. Käyttökustan-nusten perusteella tutkitaan, millä jauhemaalain ruiskutusmäärällä ja minkä ajan kuluttua ohiruiskutetun jauhemaalain kerääminen kammion lattialta uudelleenkäyttöä varten on kannattavaa. Molempien maalauskammioden tapauksessa sekä käytönaikaiset kustan-nukset että investointikustannukset käydään läpi perustuen kammioden todelliseen hankintahintaan.

Tutkimus osoittaa, että patruunasuodatinkammion tapauksessa värinvaihto on kannattavaa uusi väri taltioituna ja kierrätettynä vasta, kun ruiskutusprosessin kesto on jatkunut yhtäjaksoisesti yli 40 tuntia. Pikavärinvaihtokammion tapauksessa värinvaihto on kannattavaa ruiskutusprosessin kestäessä yhtäjaksoisesti yli 5 tuntia. Tämä tarkoittaa teoriassa patruunasuodatinkammion olevan soveltuva alihankintamaalaamojen maala-uskammioksi ja pikavärinvaihtokammio taas soveltuu maalaamoihin, joilla on omaa sarjatuotantoa ja tiettyjä vakiovärejä.

Abstract

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation

Tanhuanpää, Juha: Profitability of colour change in powder coatings with different cabins and powders

Master of Science Thesis, 50 pages, 3 Appendix pages

January 2014

Major: Machine automation

Examiner: Professor Jouni Mattila

Keywords: Powder painting, colour changing, surface treatment

Color change in powder coating is one of the most difficult task to perform. Color change also stops the production for limited time while the chamber is being cleaned. This thesis examines when and by which consumption of powder the color change is profitable by collecting the overspray powder and when not.

The thesis is divided into two parts: In the literature study part, the powder spray process and methods to minimize overspray during painting are introduced. In the research part, typical color change process and powder charging methods are introduced. Two different powder recovery systems are investigated by their investment costs based on their lifetime and required yearly revenue. Also operational costs are investigated. Based on operational and investment costs the time that is used for color change is calculated.

The study indicates that the color change in quick color change cabin is profitable when the powder spray process has been last for more than 5 hours. In cartridge filter cabin the color change is profitable after 40 hours. This indicates that quick color change cabin is suitable for paint houses where own product are being painted and cartridge filter for paint houses where subcontracting parts are being painted.

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vi
Alkusanat	ix
1 Johdanto	1
2 Jauhemaalauksen maalausmenetelmänä	2
2.1. Jauhemaalauksen historiaa	4
2.2. Ruiskulaitevalmistajat Euroopassa ja niiden toimintatapa	6
2.3. Jauhemaalaimot Suomessa	7
3 Jauhemaalit ja ruiskutuslaitteet	9
3.1. Jauhemaalien ruiskutusprosessi ja ruiskutuslaitteisto	11
3.2. Koronapistoolit eli sähköstaattiset pistoolit	13
3.3. Tribo- eli kitkavarauuspistoolit	15
3.4. Leijupetimenetelmä	16
3.5. Ohiruiskutus ja siirtohyötysuhde	17
3.6. Ohiruiskutuksen vähentäminen	18
3.6.1. Jauhemaalipistoolin suuttimien valinta	19
3.7. Vertailtavat kammio-tyypit	20
3.7.1. Pikaväriin vaihtokammio	20
3.7.2. Syklonierotuskammio	21
3.7.3. Patruunasuodatinkammio	22
4 Väriin vaihto Jauhemaalauksessa	24
4.1. Ruiskutus jätteeksi (engl. Spray to waste)	25
4.2. Väriin vaihto patruunasuodatinkammiossa	25
4.3. Väriin vaihto pikaväriin vaihtokammiossa	26
4.4. Väriin vaihto alumiiniprofiilien maalauksessa	29
4.5. Ohiruiskutetun jauhemaalien kierrätys	31
4.6. Kierrätetyn jauhemaalien roskaongelma	32
4.7. Väriin vaihdon optimointi	32
4.8. Jätejauhe, sen hävittäminen tai uudelleen käyttö	33
5 Maalaamon Kustannus- ja investointilaskenta	34
5.1. Nykyarvomenetelmä	35

5.2.	Annuiteettimenetelmä	37
5.3.	Kustannuslaskenta.....	37
5.4.	Kiinteät kustannukset	38
5.5.	Muuttuvat kustannukset	38
6	Mittaukset ja tulosten analysointi.....	39
6.1.	Herkkyysanalyysi	43
6.2.	Mittaustulosten analysointi	45
6.2.1.	Pikavärinvaihtokammion hankinnan kannattavuus	47
6.2.2.	Patruunasuodatinkammion hankinnan kannattavuus.....	47
7	Yhteenveto	48
8	LÄHTEET	49
	Liite 1: Testimaalausraportti	51
	Liite 2: Investointilaskelmat.....	52
	Liite 3: Investointilaskelmat.....	53

Termit ja niiden määritelmät

Alipoltto	Jauhemaalain polttoaika uunissa on ollut liian lyhyt tai lämpötila liian alhainen. Jauhemaal ei ole täysin verkottunut eikä se muodosta kunnolla alustassa kiinni olevaa maalikalvoa.
Elektrodi	Jauhepistoolin päässä oleva sähkökomponentti, jonka avulla jauhemaalipartikkelit varataan. Käytetään koronapistoolleissa. Varaus johdetaan elektrodiin ulkoisesta energialähteestä.
Esikäsittely	Menetelmä, jossa mekaanisesti tai kemiallisesti puhdistetaan työkappale epäpuhtauksista ja aikaan saadaan maalille tartuntapohja.
Faradayn häkki-ilmiö	Sähköstaattisen jauhemaalauksen yhteydessä esiintyvä ilmiö, jossa sähkökenttä on erisuuruinen kappaleen eri pisteissä: Suurin sähkökenttä on kappaleen kulmissa ja pienin sisäkulmissa. Faradayn häkki-ilmiö aiheuttaa maalipinnan epätasaisuutta.
Jauhemaalalaus	Menetelmä, jossa muovijauhetta ruiskuttamalla staattisen sähköön tai kitkaan perustuvien laitteiden avulla peitetään maalattava esine maalijauheella, jonka jälkeen esine kuumentetaan uunissa niin, että jauhe sulaa kappaleen pinnalle.
Jauhekaappi/-kammio	Muovista, lasista, tai teräslevystä tehty ilmastoitu tila, missä jauhe levitetään ruiskuttamalla työkappaleen pinnalle.
Jauhekeskus	Keskitetty, erikseen ilmastoitu kaappi, mistä jauhe syötetään jauheruiskuille ja minne kierrätetty jauhe palautetaan syklonierotuksen jälkeen.
Koronavaraus	Sähköstaattisesta jauheenvarausmenetelmästä yleisesti käytetty termi.
Leijupetimenetelmä	(engl. Fluidized bed) Menetelmä, jossa esikuumennetut kappaleet, kuten valukappaleet kastetaan jauhesäiliön.

Leijutusilma	Ilma, joka puhalletaan jauhemaalisiiliön huokoisen pohjan läpi, ja joka pitää maalin sellaisena ilmaseoksena, että sen voi imeä jauhepumpulla (ja edelleen) jauheruiskuille.
Maalin sideaine	Maalin tärkein ainesosa, joka muodostaa maalikalvon ja tarttuu maalattavaan alustaan.
Partikkelikoko	Jauhemaalnin jauhemaalihiukkasten halkaisija.
Pigmentti	Maalin näkyvin ominaisuus, mikä antaa maalille värisävyn ja peittokyvyn. Valtaosa pigmenteistä on metallien oksideja, musta värisävy on hiilipölyä.
Pulveri/Jauhe	Jauheeksi/Pulveriksi nimitetään muovijauhetta, joka koostuu muun muassa sideaineista ja kovetteesta sekä väripigmenteistä. Yhden jauhepartikkelin koko on 5- 100µm.
Ruiskutus jätteeksi	Jauhemaalaustapa, jossa ohiruiskutettua jauhetta pidetään jätejauheena, eikä sitä käytetä uudelleen.
Seula	Kierrätetyn palautusjauheen puhdistukseen käytetty väärähtelevä siiviläverkko. Palautusjauheen seulominen estää roskien pääsy maaliruiskujen suuttimiin.
Siirtoilma	Paineilma, minkä avulla jauhe siirretään syöttöastioista ruiskuille tai toiseen syöttöastiaan.
Suodatin	Maalaamossa on erityyppisistä kuiduista valmistettuja kankaita, mattoja, patruunoita tai poimutettuja levyjä maalin tai maalipölyn erottamiseen ilmasta. Maaliruiskujen suuttimiin palautusjauheen seulominen estää roskien pääsyn.
Sykloni	Jauheen ja ilmaseoksen erottamiseen käytetty laite, jossa, jauhe saadaan voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen jolloin keskipakoisvoima erottaa raskaammat partikkelit syklonin pohjalle.
Sähkövaraus	Synnyttää sähkömagneettisen kentän, jota käytetään hyväksi sähköstaattisessa jauhemaalauksessa parantamaan ruiskutuksen hyötysuhdetta.

Talteenottolaitteet	Ohiruiskutetun jauhemaalın keräämisen mahdollistavat tekniset laitteet, joiden avulla jauhemaali pystytään käyttämään prosessissa uudelleen.
TE -luku	(engl. Transfer efficiency) Siirtohyötysuhde, joka kertoo kuinka paljon ruiskutetusta tuoreesta jauhemaalimäärästä saadaan kiinnittymään maalattavaan kappaleeseen.
Tribopistoolit	Tarkoitetaan kitkavarauispistooloja, jossa jauhemaali varataan johtavan jauheletkuun avulla.
Traverssilaitteisto	Edestakaisella liikkeellä toimiva automaattipistoolien kuljetusautomaatti, joka sijaitsee maalausammion ulkopuolella.
Tärypöytä	Jauhesäkin syöttölaitteen alla olevaa tärisevä pöytä, joka saa jauhemaalın virtausliikkeeseen ja helpottaa sen syöttöä jauhepumpulle.
Uunitus	Maalatun työkappaleen vaatima kuivausaika polttouunissa.
Varausvärki	Sähköstaattisen ruiskupistoolin suuttimen kärkeen liitetty metallinen värki, johon johdetaan 30-115kV korkeajännite.
Verkkoontuminen	Maalin sideaineen kovettuminen kemiallisen reaktion tai lämmön vaikutuksesta. Jauhemaalaamossa verkkoontuminen tapahtuu uunissa lämmön vaikutuksessa.
VOC-päästöt	(engl. Volatile organic compound), VOC-päästöillä tarkoitetaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita syntyy kemiallisten liuottimien käytöstä. VOC-päästöt ovat haitaksi ympäristölle ja aiheuttavat esimerkiksi otsonikerroksen ohenemista.

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknilliseen yliopistoon hydraulikan ja automaatiikan laitokselle syksyllä 2013. Haluan kiittää opinnäytetyöni valvojaa ja ohjaajaa professori Jouni Mattilaa lukuisista neuvoista työn eri vaiheissa.

Työ perustuu Suomessa ja Virossa sijaitsevien jauhemaalaamoiden toiminnasta saatuihin tietoihin jauhekammioiden värienvaihtajoihin sekä kammioiden siivoukseen kuluviin aikoihin. Jauhemaalain ruiskutusmäärät on saatu testimaalausraportin perusteella, joka löytyy liitteestä 1.

Kiitokset kuuluvat myös läheisille ystäväilleni sekä ITW-Gema-tuotepäällikkö Keijo Virtalalle Sasmetor Oy:stä että projektijohtaja DI Veijo Tanhuanpäälle Ekomans Oy:stä, jotka auttoivat työn etenemisessä ja antoivat arvokkaita neuvoja ja parannusehdotuksia.

Espoossa 3.12.2013

Juha Tanhuanpää

1 JOHDANTO

Jauhemaalauks on liuotinvapaa metallituotteiden maalausmenetelmä, jossa jauhepartikkelit siirretään maalattavaan kappaleeseen paineilman ja sähkövarauksen avulla. Jauhemaalauks antaa metallikappaleelle vahvan mekaanista sekä kemiallista kulutusta kestävä erittäin tiiviin pinnan. Se on kestävä pinnoitusmenetelmä, mikä soveltuu myös moniulotteisille sekä kulmikkaille kappaleille, joihin märkemaalauksmenetelmällä on hankala saada tasaista ja suojaavaa maalipintaa. Maailmanlaajuisesti kysyntä jauhemaaleille ja jauhemaalauslaitteille oli vuonna 2010 5.8 miljardia dollaria.

Jauhemaalauksessa suuria ongelmia on tuottanut vanhan jauhemaalain kierrättäminen sekä taltioiminen uudelleen käyttöä varten. Ohiruiskutettu jauhemaal voidaan käyttää maalausprosessissa uudelleen, jos se pystytään taltioimaan siten, että saman väripigmentin hiukkasten seassa ei ole muita värihiukkasia. Taltioinnissa ongelmia on kuitenkin tuottanut kammion siivoukseen kuluva aika, joka synnyttää tuotantoon katkoksen. Taltiointiongelmien vuoksi värinvaihto on tehty hyvin usein siivoamatta ja taltioimatta seuraavaa väriä, lainkaan laskematta kustannusoptimia.

Nykyään asiakkaat ovat tulleet yhä enemmän hintatietoiseksi maaleista sekä maalauksen kustannuksista. Tämän takia tarve ohiruiskutetun jauheen kierrätykselle ja talteenotolle on tullut todelliseksi. Varsinkin suurten maalattavien tuote-erien tapauksessa ohiruiskutetun jauheen kustannukset tulevat merkittäviksi, eikä ohiruiskutetusta jauhemaalista syntyviä kustannuksia pystytä aina lisäämään maalauksen hintaan. Ohiruiskutetun jauheen määrä voi olla kokonaisuudessaan jopa 80% käytettävän tuoreen jauhemaalain määrästä.

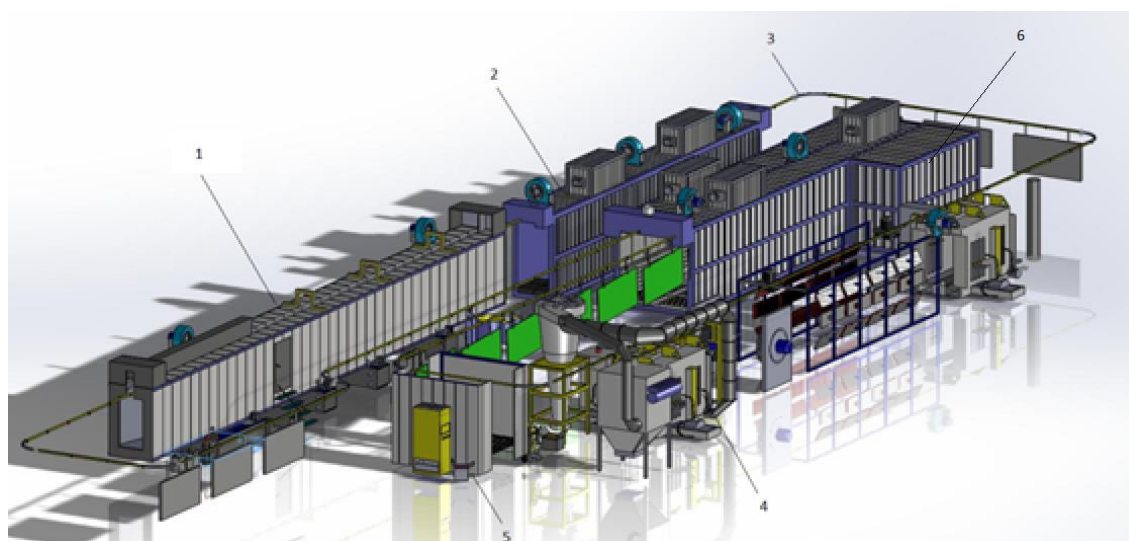
Työ on tehty helpottamaan maalauskammion vertailua ja työn tavoitteena on muodostaa lukijalle kuva värinvaihtoprosessista, milloin jauhemaal kannattaa uudelleentaltioida ja milloin ruiskuttaa jätteeksi. Molemmilla kammiotyypeillä on hyvät ja huonot ominaisuudet ja maalauskammion valinta riippuu maalattavien tuotteiden lisäksi käytössä olevien värisävyjen lukumäärästä. Vertailu tehdään investointi- ja käyttökustannusten perusteella. Myös herkkyysanalyysia käytetään esimerkiksi investointikustannusten ja käyttökustannusten muutosten analysointiin.

Tässä diplomityössä vertaillaan värinvaihdon- sekä jauhemaalain kierrätyksen kannattavuutta kahdella eri jauhemaalain talteenottolaitteistolla perustuen niiden hankintahintaan sekä värinvaihdon aikana syntyviin kustannuksiin. Työssä esitellään erityisesti pikavärinvaihtoon suunniteltu maalauskammio ja vertaillaan sen teknisiä ominaisuuksia toiseen, perinteiseen patruunasuodatinkammioon. Tavoitteena on määritellä oikean jauhhekammion valinta tietylle tuotantomäärälle ja tuotantokapasiteetille.

2 JAUHEMAALAUUS MAALAUSMENETELMÄNÄ

Jauhemaalauks on ympäristöystävällinen maalausmenetelmä, jossa muovijauhe ruiskutetaan kappaleen pinnalle paineilman, sähkövarauksen sekä jauhepistoolien avulla. Ruisutusprosessin aikana ilmakehään ei vapaudu haitallisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Jauhemaalit ovat muovijauhetta eivätkä ne ole syttyviä, eikä maalari altistu työssään liuotinhöyryille. Toinen suuri syy jauhemaalauksen suosioon on mahdollisuus ohiruiskutetun jauheen hyödyntämiseen ja uudelleenkäyttöön. Ohiruiskutetun jauheen hyödyntämiseen ja hyväksikäyttöön panostetaan jatkuvasti enemmän uusilla kammioratkaisuilla sekä kehittämällä ruiskutusautomaatiikkaa. [1,7]

Jauhemaalamo koostuu kuvan 2.1 mukaisista komponenteista, joita ovat (1.) esikäsitteilykammio, (2.) vedenkuivausuuni, (3.) kuljetinrata sekä (4. 5.) maalauskammio ja (6.) jauheenpolttuuni. Esikäsitteilykammiossa kappaleesta poistetaan veden ja pesukemikalioiden avulla epäpuhtaudet ja rasva. Vedenkuivausuuni valmistele kappaleen maalaukseen poistamalla kappaleesta kosteuden ja veden. Maalauskammiossa jauhe maali ruiskutetaan kappaleen pinnalle. Polttouuni sulattaa jauhemaalain kappaleen pinnalle. Jauheen ollessa sulana, siinä käynnistyy unin lämpötilan vaikutuksesta verkkoutuminen ja kiinnittyminen kappaleen pintaan. Maalipinta kovettuu lopullisesti jäähtymisen jälkeen. Jauhemaalauksen avulla monet tuotteet saadaan yhdellä maalauskerralla valmiiksi. Esimerkiksi märkemaalauksmenetelmässä joudutaan usein maalaamaan erikseen pohjavärejä ja pintavärejä erillisissä maalauskammioissa. Korjausmaalauks on jauhemaalauksessa vaikeampaa kuin märkemaalauksessa, mutta ei mahdotonta. Valmis jauhemaalattu pinta kestää muita maalaustapoja paremmin mekaanista rasitusta. [6,7]



Kuva 2.1. Jauhemaalamo kokonaisuudessaan

Jauhemaalattava kappale joudutaan esikäsittelemään ennen jauhemaalausta. Esikäsitteilymenetelminä voidaan käyttää kemiallista tai mekaanista esikäsitteilyä. Kemiallisessa esikäsitteilyssä maalattava pinta puhdistetaan rasvasta pesuaineiden avulla. Kemiallisen esikäsitteilyn jälkeen kappale kuivataan vedenkuivausuunissa. Kemiallisen esikäsitteilyn tarkoituksena on, paitsi puhdistaa maalattava pinta, luoda hyvä tartuntapohja maalille. Mekaanisessa esikäsitteilyssä rasva ja muut epäpuhtaudet taas poistetaan raepuhalluksen tai sinkopuhdistuksen avulla, jossa pinnankarheutta muutetaan. [6]

Jauhemaalaus voidaan karkeasti jakaa teolliseen (engl. Functional) ja koristeelliseen (engl. Decorative) maalaukseen. Teollisessa maalauksessa maalikerroksen avulla pyritään kappale suojaamaan ensisijaisesti korroosiolta tai auringon ultraviolettisäteilyltä. Teollisessa maalauksessa pintakäsitteltävän kappaleen loppusijoituspaikka on yleensä ulkona ja kappale altistuu vaihteleville sääolosuhteille, kosteudelle ja auringon uv-säteilylle. Maalipinnan paksuudella tai pinnan ulkonäöllä ei ole teollisessa maalauksessa juurikaan merkitystä. Koristeellisessa maalauksessa taas maalipinnan ulkonäkö on tärkeämpi kuin maalipinnan suojaavat ominaisuudet ja pintakäsitteltävän kappaleen loppusijoituspaikka on yleensä sisätiloissa. Koristeellisessa jauhemaalauksessa maalipinnan paksuus on yleensä ohut 25 μ -100 μ . [1,12]

Jauheen varausmenetelminä on olemassa 1950-luvulta kehitetty kitkavarausmenetelmä, leijupetimenetelmä ja 1960-luvulla kehitetty koronavarausmenetelmä. Sähköstaattisella varausmenetelmällä ohiruiskutus tuoreella jauheella on runsaampaa koronavarausmenetelmässä kuin kitkavarausmenetelmällä. [1,6]

Jauhemaalaukseen soveltuvalta kappaleelta vaaditaan sähköön johtavuus, ja sen tulee maalausprosessin päätteeksi kestää noin 200 asteen uunitus noin 20 minuutin ajan. Polttoajalla tarkoitetaan maalatun kappaleen oloa kuumassa uunissa. Uunissa jauhemaalili sulaa lämmön vaikutuksesta ja verkottuu kappaleen pinnalle. Kappaleen poltto-aika määräytyy maalin laadun ja maalatun kappaleen materiaalin paksuuden perusteella. Jauhemaalien yhteydessä on ilmoitettu minimilämpötila, joka on alin lämpötila kelvollisen ja vahvan pinnanlaadun saamiseksi. Liian lyhyt poltto-aika johtaa alipolttoon, jossa jauhemaalili sidosaineet eivät ole reagoineet kunnolla ja pinta on märkä. Alipoltettu jauhemaalipinta lohkeaa iskusta laikkuina. Liian pitkä poltto-aika taas näkyy maalatun kappaleen värisävyn kellastumisena. Maalipinnan kellastuminen näkyy erityisesti vaaleilla värisävyillä. [6]

Kuvassa 2.2 on esitetty jauhemaalaamo sähköstaattisilla jauhemaalauslaitteilla ja pikaväriin vaihtokammioilla. Kuvan 2.2 keskellä on esitetty pikaväriin vaihtokammio. Maalaamon kattoon on kiinnitetty Power & free-tyyppinen kattoratakuljetin. Maalauskammion oikealla puolella on jauhemaalili uudelleentaltiointiin käytettävät sykloni ja jälkisuodatin. Jälkisuodattimen oikealla puolella on tunnelityyppinen esikäsitteilykammio, jossa käytetään pesuaineena nanopinnoitteita.



Kuva 2.2. Valmis jauhemaalamo kokonaisuudessaan

2.1. Jauhemaalauksen historiaa

Jauhemaalauksen historia alkaa 1950-luvun alussa, jolloin Euroopassa ja Yhdysvalloissa aloitettiin sähköverkkojen eristeiden sekä öljy- ja kaasuputkien pintakäsittely ja suojaus jauhemaalauksen avulla. Jauhemaalauslaitteet olivat tuolloin alkeellisia leijupetimenetelmään perustuvia laitteita, joissa jauhemäärän sekä ruiskutusprosessin hallinta oli alkeellista ja vaikeaa. Jauhemaalien värivalikoima oli hyvin rajallinen johtuen maalien korkeista polttolämpötiloista ja maalauksen avulla saatiin aikaan vain epätasaisia, vaihtelevan paksuja kerrospaksuuksia. Kerrospaksuudet vaihtelivat $150\mu\text{m}$ ja $500\mu\text{m}$ välillä. Pinnan ulkonäkö ei sopinut koristeelliseen maalaukseen tekniikan kehittymättömyyden vuoksi. Jauhemaalauksen soveltui tuolloin vain korroosion estämiseen. Jauhemaalauksen suosio oli kuitenkin suuressa nousussa johtuen toisen maailmansodan aiheuttamasta märkemaalauksessa käytettyjen liuotteiden huonosta saatavuudesta. [1]

1960 ja 1970-luvuilla jauhemaalit sekä jauhemaalauslaitteet kehittyivät rajusti. Yksi merkittävä edistysaskel oli sähköstaattisen jauhemaalauksen keksiminen minkä avulla maalipinnan kerrospaksuutta saatiin pienennettyä. Sähköstaattinen jauheenva-
rausmenetelmä perustui Harold Ransburgin toisen maailmansodan aikaiseen keksintöön, jossa märkemaalien ohiruiskutusta saatiin pienennettyä varaamalla maalihiukkaset sähköisesti. Tätä keksintöä hyödyntämällä saatiin jauhemaal kiinnittymään maalattavan kappaleen pintaan ja aikaan hallittu jauhemaal kerrospaksuuden pienentäminen. [1]

Jauhemaalien valmistusmenetelmät kehittyivät myös 1970-luvulla ja näin jauhepartikkeleiden kokoa saatiin yhtenäisemmäksi. Tämä mahdollisti myös koristeellisesti

maalattujen tuotteiden valmistamisen. Maalarit keskittyivät 1960- ja 1970- luvuilla tuotannon tehokkuuteen, mutta jauhemaalien värivalikoima oli yhä vaatimaton. Maalien uudelleenkäyttö oli harvinaista. Syynä olivat sykloni- ja patruunatyypiset maalaus-kammiot, joissa värinvaihto kesti noin kaksi tuntia. Mitä useampi tällainen maalaus-kammio oli käytössä, sitä joustavampaa tuotanto oli, ja sitä enemmän maalarilla oli vä-rivalikoimaa, ilman värinvaihdon vaatimaa perusteellista kammioiden siivousta. Sähkö-staattista jauhemaalauksia aloitettiin Suomessa 1970-luvulla. Laitteet olivat tuolloin al-keellisia ja niissä esiintyi turvallisuuspuutteita. Kuitenkin maalauksen epäonnistumiset johtuivat pääosin kappaleiden puutteellisesta esikäsittelystä tai uunien lämpötilojen huonosta hallinnasta. [1, 7]

Autoteollisuus hyödynsi jauhemaalauksella sellaisten osien suojaamisessa, jotka al-tistuitivat haastaville ympäristöoloille. Pioneereja jauhemaalauksen käyttöönotossa olivat ohutlevytuotteita sarjatuotantona valmistavat tehtaat, joilla oli käytössä vain valkoinen väri. Tyypillisiä olivat valaisintehtaat ja kodinkonetehtaat. Suomessa ensimmäisten jou-kossa olivat muun muassa Kemppi Oy, Idman Oy, Elekrolux Oy, Upo-pesukonetehtas. 1969 esiteltiin ensimmäinen teollinen maalausrobotti. [1]

1980- luvulla kodinkonevalmistaja Whirlpool otti käyttöönsä jauhemaalauksen kuivausrumpujen osien maalauksessa. Tämä oli merkki siitä, että jauhemaalit olivat saavuttaneet hyväksyttävän laadun ja tason kuluttajamarkkinoilla. Maalatun pinnan pak-suutta oli aluksi vaikea kontrolloida ja maalaamosta tulevien kappaleiden pinnan pak-suus vaihteli suuresti, ohiruiskutettu jauhemaali täytti talteenottolaitteet, mikä pidensi maalauskammioiden ja ruiskujen puhdistusta. Lopulta kuitenkin ongelmat saatiin rat-kaistua. 1980- luvulla pystyttiin laskemaan jauhemaalien polttolämpötilaa sekä esiteltiin uusia erityisiä TGIC- kovetteella olevia jauhemaaleja. Autoteollisuudessa jauhemaalauks oli yleistä korin osien suojaamisessa, mutta korin maalauksessa se ei pystynyt syrjäyt-tämään liuotinhenteisiä märkämaaleja. [1,5]

1990- luvulla markkinoille esiteltiin piipohjaisia polymeerijauhemaaleja sekä metallinhohtovärejä. Lisäksi kehitettiin tietokonepohjaiset jauhevalmistusmenetelmät, missä partikkelikokoa voitiin kontrolloida. Lisäksi 1990-luvulla esiteltiin ensimmäiset pikavärinvaihtokammiot sekä uusia ohjausjärjestelmiä ja automatiikkaa helpottamaan värinvaihtoa ja parantamaan pistoolien siirtohyötysuhdetta. Lisäksi laitevalmistajat esit-telivät maalausrobotit, joiden avulla moniulotteiset kappaleet saadaan maalattua robotin avulla pienemmällä määrällä ohiruiskutusta kuin traverssilaitteistolla. [1,5]

Autoteollisuudella oli hyvin suuri rooli jauhemaalauksen suureen suosioon. Jau-hemaalaukslaitteiden ja jauhemaalien kehitykseen panostettiin, koska niillä yritettiin kor-vata liuotinhenteisiä märkämaaleja ja välttämään VOC- päästöjen vähentämisestä ai-heutuvia suuria kustannuksia. Autoteollisuuden oli investoitava suuria määriä päästöjen puhdistuslaitteisiin, jotta pysytään alle yhteiskunnan määrittelemien päästönormien. Yhdysvalloissa GM, Ford ja Chrysler perustivat vuonna 1990 LEPC- järjestön, (engl. Low emissions Paint Consortium), jonka tehtävänä oli tutkia ja löytää pienempi päästöi-sempiä maaleja, joilla oli vaikutusta VOC- päästöihin. Järjestön suurin hyöty oli se, että

tuotekehitykseen varatut määrärahat käytettiin ympäristön suojelemiseen, eikä uusien puhdistuslaitteiden hankintaan. [1]

2.2. Ruiskulaitevalmistajat Euroopassa ja niiden toimintatapa

Jauhemaalauslaitteita valmistavia yrityksiä on Euroopassa ja Yhdysvalloissa useita. Näille yrityksille on tyypillistä keskittyminen vain ruiskutuslaitteiden ja maalauskammioiden valmistukseen ja yhteistyön tekeminen globaalisti paikallisten laitostoimittajien tai paikallisten edustajien kanssa eri maissa. Laitostoimittajilla tarkoitetaan insinööri-toimistoja, joilla on osaaminen ja resurssit esikäsittelylinjojen, kuljetinratojen ja uunien suunnitteluun ja valmistukseen. Laitostoimittajat toimivat paikallisesti ja hankkivat muut tarvittavat komponentit sekä ruiskulaitteet ulkomaisilta toimittajilta ja tekevät yhteistyötä maalauskammioiden tapauksessa ruiskulaitevalmistajien kanssa. Pikavärinvaihtokammioita suunniteltaessa ruiskulaitevalmistajat tekevät koemaalauksia kappaleilla ja määrittelevät ruiskujen määrän sekä jauhekammioiden mitat maalattavien maksimikappaleiden perusteella. [4]

Merkittävimmät jauhemaalauslaitteita valmistavat yritykset ovat sveitsiläisen Gema:n rinnalla saksalainen Wagner GmbH, ranskalainen Sames ja amerikkalainen Nordson. Näistä yrityksistä vuonna 1971 perustettu Gema on toimittanut maailmanlaajuisesti yli 3500 jauhemaalaukskammiota ja yli 250 000 jauhepistoolia. Wagner ja Sames valmistavat vain sähköstaattisia jauhemaalauslaitteita, eli koronapistoolia. Amerikkalaisella Nordsonilla on valikoimassa koronapistoolien lisäksi myös kitkavaraukseen perustuvia maalauslaitteita. Kaikilla edellisillä laitevalmistajalla on tuoteryhmässään myös tutkimuksessa käsiteltyjä pikavärinvaihtokammioita ja patruunasuodatinkammioita. [16]

Ruiskulaitetoimittajat eroavat toisistaan heidän tarjoaman tuoteryhmän perusteella. Jokaisella esitellyistä toimittajista on tuotevalikoimassaan patruunasuodatinkammioita, pikavärinvaihtokammioita sekä automaatti- ja käsimaalaukseen tarkoitettuja jauhepistoolia. Wagner GmbH:llä on tuotevalikoimassaan suuri määrä erikokoisia pikavärinvaihtokammioita kun taas Gema on suunnitellut yhden soveltuvan kammiotyyppin. Maalauskammioiden valintaan liittyy kuitenkin suuri määrä mielikuvia ja investointipäätös tehdään usein laitostoimittajan aikaisempien projektien ja myyntityön perusteella. Lisäksi myyntihintaan vaikuttavat myös ruiskulaitetoimittajien sijainti, joka tuo valmistajasta riippuen lisäkustannuksia esimerkiksi ylimääräisinä veroina tai kuljetuskustannuksina. [4,6]

Pintakäsittelyalalla on tapahtunut lukuisia yritysjärjestelyjä vuosien kuluessa ja monia tunnettuja ruiskulaitteiden valmistajia, kuten ESB ja Volstatic ovat kadonneet markkinoilta. Muita suuria Eurooppalaisia laitostoimittajia ovat esimerkiksi alumiini-profiilien maalauslinjoihin keskittynyt italialainen Trasmatal S.p.A ja saksalainen Eisenmann AG. Pohjoismaisia laitostoimittajia ovat esimerkiksi tanskalainen Ideal-line ja ruotsalainen Greiff- industrimiljö.

2.3. Jauhemaalaamot Suomessa

Jauhemaalaamot jakautuvat Suomessa asiakaskuntansa perusteella pienistä alihankintamaalaamoista ja rahtimaalaamoista (Engl. Job coaters) yrityksiin, jotka maalaavat pelkästään oman tuotannon tuotteita. Alihankintamaalaamoille on tyypillistä suuresti vaihtelevat tuotantoerät ja päivittäin tapahtuvat useat värinvaihdot. Alihankintamaalaamoita on paljon erityyppisiä, jotka pystyvät pintakäsittelmään erimuotoisia tuotteita. Maalaamot ilmoittavat aina suurimman mahdollisen kappalekoon, jonka he pystyvät maalaamaan. Myös alihankintamaalaamojen esikäsittelymenetelmät vaihtelevat suuresti perinteisestä rautafosfatoinnista erilaisiin nanopinnoitteisiin. Lisäksi alihankintamaalaamoissa maalattavat tuotteet vaihtelevat suuresti ja samoin myös ohiruiskutuksen määrä ja siirtohyötysuhde. Joidenkin maalattavien sarjojen tapauksessa ohiruiskutetun jauhemaalien keräämiselle ja maalausammion siivoukselle on perusteita. Yleensä kuitenkin pienissä maalattavissa sarjoissa ohiruiskutettua jauhemaalia pidetään jättejauheena ja keskitytään yksinomaan tuotannon tehokkuuteen. Alihankintamaalaamojen ja rahtimaalaamojen ongelma ei niinkään ole erityyppiset ja erimalliset maalattavat kappaleet vaan suuri jauhemaalien värivalikoima, joilla tuotteita maalataan. Jauhemaalien eri värisävyjä on saatavana pieninä erinä, joka kasvattaa tarjolla olevien maalien määrää. Lisäksi jokaiselle jauhemaalien värisävyille on olemassa alaluokkana oma kiiltoaste kirkkaasta mattapintaiseen. Asiakkaat pystyvät määrittelemään esimerkiksi RAL- värisävyjen perusteella haluamansa maalattavan värisävyyn ja sen tietyn kiiltoasteen. Tämän johdosta alihankintamaalaamon kannattaa varastoida vain tiettyjä yleisimpiä värisävyjä, kuten valkoista ja mustaa. Muut värisävyt tilataan tarpeen mukaan. [1,2]

Toiseen ryhmään kuuluvat yritykset, jotka maalaavat vain oman tuotannon tuotteita tietyillä vakioväreillä. Vakiovärejä voi olla 4-5 kappaletta ja jokaisen eri värisävyyn kiiltoaste on ennalta määritetty. Näin ollen varaston jäänyt värisävy pystytään käyttämään ruiskutusprosessissa uudelleen eikä pelkoa varastoon jääneistä erikoissävyistä ole. Värisävyjen pienestä lukumäärästä johtuen värinvaihtoja ei tapahdu useasti. Ohiruiskutettu jauhemaali pyritään keräämään talteen uudelleenkäyttöä varten tuotteen loppusijoituspaikan ehdoilla. Näille yrityksille on tyypillistä suurten sarjojen maalaus, joiden kesto voi olla jopa useita päiviä. Värinvaihdot määritellään tuotannonohjausjärjestelmän avulla, joka määrittää tilausten perusteella värinvaihdon ajankohdan ja seuraavan maalattavan värisävyyn. [1]

Kolmas ryhmä ovat jauhemaalaamot, joissa maalataan ainoastaan ja pelkästään tiettyä väriä ja tiettyä kiiltoastetta. Esimerkiksi mustaa tai valkoista värisävyä. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi tietyt kodinkonetuottajat ja tietyt valaisintehtaat. Tehtaat ostavat suuria määriä jauhemaalia, joten kustannuksista saadaan tingittyä. Ainoat värinvaihtoon rinnastettavat tapahtumat jauhemaalaamossa on maalausammion ajoittainen siivous. Nämä valmistajat maalaavat suuria määriä oman tuotannon tuotteita ja panostavat ruiskutuslaitteisiin, joilla on suuri siirtohyötysuhde. Suomessa jauhemaalausta harjoittavat yritykset kuluttavat keskimäärin jauhemaalia vuodessa 10 000 kg- 50 000 kg. [1]

Suomessa yritysten investoinnit jauhemaalaamoihin ovat vähentyneet viime vuosina huomattavasti globalisaation sekä yritysten siirtäessä tuotantoaan edullisimpiin maihin ja lähemmäksi Euroopan ja Aasian suuria markkinoita. Erityisesti kuljetuskustannukset ja työvoimakustannukset syövät kilpailuetua, jos tuotteita viedään muiden maiden markkinoille. Suomesta on viime vuosina lopetettu seuraavien yritysten pintakäsittelylaitoksia, kuten Nokia Oy:n alihankkijoina toimivat Perlos Oy, Foxconn ja monia muita. Kuitenkin teollisuudella on tarve jauhemaalaukselle ja jauhemaalauslaitteille, mutta suurien uusien jauhemaalaamojen rakentaminen Suomeen on nykyään harvinaista.

3 JAUHEMAALIT JA RUISKUTUSLAITTEET

Jauhemaalit ovat muovijauhetta, jotka voidaan jakaa reaktiomekanismin perusteella lämmöstä reagoiviin (engl. Thermosets) ja lämmöstä kovettuviin termoplastisiin (engl. Thermoplastics) jauhemaaleihin. Lämmöstä kovettuvissa jauhemaaleissa on pidempi molekyylirakenne kuin lämmöstä reagoivissa jauhemaaleissa ja tämän takia maalipinta on paksumpi ja kestää paremmin mekaanista rasitusta ja iskuja. Jauhemaalien reaktiomekanismi vaikuttaa myös tarvittaviin polttoaikoihin. Lämmöstä reagoivia jauhemaaleja joudutaan pitämään uunissa yhtäjaksoisesti noin 20 minuutin ajan, jonka aikana kemialliset sidokset muodostuvat ja maalipinta saa lopulliset ominaisuudet. Lämmöstä kovettuvat jauhemaalit taas tarvitsevat vain lyhytkestoisen tarvittavan korkean lämpötilan jauhepinnan sulatukseen. Lämmöstä kovettuvat jauhemaalit kestävät paremmin ympäristöoloja ja myös niiden mekaaniset ominaisuudet ovat paremmat paksumman maali-kerroksen turvin kuin lämmöstä reagoivilla jauhemaaleilla. Suurin osa nykyään valmistettavista jauhemaaleista ovat lämmöstä reagoivia jauhemaaleja ja myös tässä ryhmässä on tapahtunut suurin osa maalien kehityksestä. Kehityksen kohteena ovat olleet maalien sideaineet, täyteaineet ja lisäaineet, joiden avulla maalipinnan ominaisuuksia on saatu parannettua ja erikoissovelluksiin tulevia jauhemaaleja on saatu kehitettyä. Jauhemaaleja valmistavat Euroopassa esimerkiksi seuraavat yritykset: DuPont, Akzo Nobel, Jotun Powder Coatings ja 3M. [12]

Lämmöstä reagoivat jauhemaalit koostuvat sideaineesta, kovetteesta, väripigmenteistä, täyteaineista ja lisäaineista. Nämä luokitellaan edelleen sideaineen perusteella epoksi, polyesteri, epoksi-polyesteri ja akryylijauhemaaleihin. Tuoreen jauhemaalien sideaine ja kovete reagoivat kuumassa uunissa muodostaen palautumattomia kemiallisia verkkomaisia sidoksia. Tämä tapahtuu jauhemaalista riippuen noin 200 asteen lämpötilan yhtäjaksoisessa noin 20 minuutin vaikutuksessa. Valmiilla jauhemaalipinnalla on näin erilainen kemiallinen rakenne kuin tuoreella ruiskutetulla jauhemaalilla. Valmis jauhemaalipinta kestää hyvin mekaanista rasitusta eikä sen kemiallinen rakenne enää muutu, jos maalipinta kuumennetaan uudelleen esimerkiksi korjausmaalausta tehdessä. Valmiin jauhepinnan tyypillinen paksuus on 80µm - 100µm. Jauhemaalien täyteaineilla vaikutetaan maalipinnan kiiltoasteeseen ja mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten iskunkestävyyteen. [12,19]

Epoksijauhemaalit olivat ensimmäisiä 1960-luvulla kehitetyistä kaasuputkien suojaukseen kehitetyistä jauhemaaleista. Nykyään niitä käytetään pääsääntöisesti sisäkäyttöön tulevien tuotteiden maalauksessa. Ne kestävät hyvin kemikaaleja ja mekaanista jauhepintaan kohdistuvaa rasitusta. Ulkokäyttöön epoksijauhemaalit eivät sovellu, koska auringon ultraviolettisäteilyn johdosta maalipinta liittuuntuu ja menettää kiiltonsä. Liittuuntumisella tarkoitetaan valmiin jauhemaalikerroksen pintakerroksessa tapahtuvia

kemiallisia reaktioita, jotka pilaavat pinnan kiiltoa. Epoksijauhemaalipinnan liittuuntuminen ei kuitenkaan tapahdu välittömästi vaan 3-5 kuukauden uv-säteilylle altistumisen aikana. Maalikalvo kuitenkin suojaa kappaletta myös tämän jälkeen, kunhan maalikalvo pysyy rikkoontumattomana. Epoksijauhemaalialia on saatavana sekä korona- , että kitkamaalauslaitteille. Epoksijauhe on hyvin herkkä värivirheille, jos polttoaika on liian pitkä tai liian korkea. [19]

Polyesterijauhemaalit ovat ulkokäyttöön soveltuvia jauhemaaleja, jotka eivät reagoi auringon uv- säteilyn kanssa. Niillä on hyvä korroosion ja kosteuden kestävyys. Polyesterijauhemaalien liuottimien kestävyys on huonompi kuin epoksijauhemaaleilla. Polyesterijauhemaaleja on saatavana TGIG – kovetteella tai ilman. TGIG- kovete mahdollistaa paksujen jauhekerrosten levittämisen ilman maalipinnan epätasaisuutta tai paksun jauhepinnan eristysominaisuuden tuomaa pinnan reikiintymistä. Nykyään käytössä olevat polyesterijauhemaalit ovat yleensä ilman terveydelle haitallista TGIG- kovetetta. Polyesterijauhemaalit säilyttävät alkuperäisen kiiltonsa sekä pinnan suojaavat ominaisuudet yhdestä viiteen vuoteen altistumista uv-säteilylle. [18]

Epoksi-polyesterijauhemaalien seoksella on pyritty saavuttamaan molempien maalien hyvät ominaisuudet. Tämä jauhemaalityyppi on yleisesti käytössä sisätiloihin tulevien kappaleiden pinnoitusmenetelmänä. [18]

Akryylijauhemaaleja käytetään yleisesti autoteollisuudessa, jossa vaatimuksena on maalipinnan kiilto. Lisäksi on olemassa joukko erikoisjauhemaaleja, kuten struktuuri- ja metallinhoitojauhemaaleja sekä erilaisia lakkoja, joita käytetään jauhemaalauksessa. [18]

Termoplastiset eli lämmöstä kovettuvissa jauhemaaleissa taas ei tapahdu kuumenemisen yhteydessä kemiallista reaktiota. Näin ollen tuoreella jauhemaalilla ja valmiilla kiinteällä jauhemaalipinnalla on sama kemiallinen rakenne. Uudelleen kuumentettaessa kiinteä termoplastinen jauhepinta reagoi lämpöön sulamalla uudelleen. Termoplastisia jauhemaaleja käytetään erityisen vaativissa olosuhteissa, joissa edellytetään esimerkiksi iskunkestoa tai maalipinnan pitkää elinikää. Termoplastisia jauhemaaleja käyttää esimerkiksi leijupetimentelmässä tai sähköstaattisessa jauhemaalauksessa. Termoplastisista jauhemaaleista yleisin käytössä oleva on nylon, muita jauhemaaleja ovat teflon, polyeteeni, polypropyleeni. [12]

Jauhemaalien valmistajat kehittävät jatkuvasti tuotteitaan kohti parempaa sääntä ja iskunkestävyyttä. Lisäksi yksi suurimmista haasteista on jauhemaalien polttolämpötilan laskeminen, joka vaikuttaisi suoraan energiakustannusten alenemiseen. Samalla polttolämpötilan lasku ja ultraviolettisäteilyn ja infrapunasäteilyn avulla kovettuvat jauhemaalien valikoiman suureneminen avaisivat jauhemaalaukselle uusia markkinoita erityisen herkkien tuotteiden suojauksessa ja pintakäsittelyssä. Herkät tuotteet eivät kestä nykyisiä jauhemaalien suuria polttolämpötiloja. Näitä tuotteita ovat esimerkiksi puu- ja muoviteollisuuden tuotteet sekä tietyt keraamiset tuotteet. Jauhemaalien haitallisten lisäaineiden vaikutuksia pyritään poistamaan kehittämällä korvaavia kemikaaleja. Eri-tyisesti epoksi-polyesteri jauhemaalien TGIC kovetteen ihoärsytysten poistamiseen on kehitteillä korvaavia kemikaaleja. Lisäksi tavoitteena on laskea jauhemaalien poltto-

lämpötilat alle 100 asteen. Tulevaisuuden tavoitteita on myös jauhemaalauksen parempi hyödyntäminen autoteollisuudessa näkyvien osien osalta, joka mahdollistaisi jauhemaalauksen hyödyntämisen puutuotteiden suojauksessa. Lisäksi tavoitteina olisi kehittää jauhemaalaukseen soveltuvia ohuita pinnoitteita, joita pystyttäisiin maalaamaan (25 - 75 μm). [13]

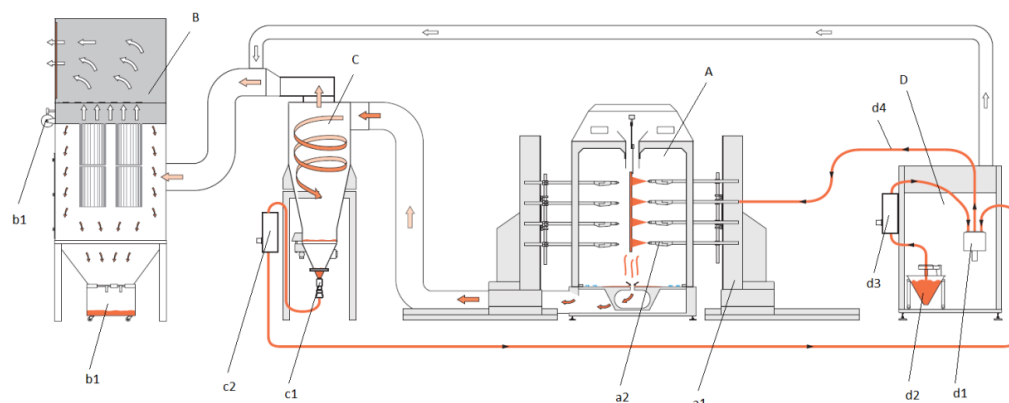
3.1. Jauhemaalın ruiskutusprosessi ja ruiskutuslaitteisto

Jauhemaalın ruiskutusprosessilla tarkoitetaan kuiva-ainepitoisen jauhemaalın siirtämistä hallitusti maalisäiliöstä tai -säkistä jauhepumppujen ja ruiskulaitteiden avulla kohti maalattavaa pintaa. Jauhemaalauksen perustuu kahden erimerkkisen sähkövarauksen keskinäiseen vetovoimaan, jonka avulla muovijauhe saadaan kiinnittymään kappaleen pinnalle. Jauhemaalı on maalatussa kappaleessa kiinni vain sähkövarauksen avulla ja tarvittaessa kappale saadaan puhdistettua jauheesta paineilman avulla. Jauhemaalın varausmenetelminä käytetään sähköstaattista varausta eli koronavarausta tai kitkavarausta eli tribovarausta. Lisäksi on olemassa myös termoplastisten jauhemaalien yhteydessä käytetty leijupetimenetelmä. Kaikilla varausmenetelmillä on heikkouksia ja vahvuuksia, jotka on esitelty seuraavissa kappaleissa. Työssä käsitellään jauhemaalın ruiskutusprosessia sekä pikavärvinvaihtokammiossa että patruunasuodatinkammiossa ja jauhemaalın ruiskutuslaitteistoa. Maalattava kappale ja sitä kuljettava kuljetin on maadoitettu. [6,7]

Ruiskutusprosessi tapahtuu aina hallitusti maalausammion sisäpuolella. Poistopuhaltimien avulla estetään jauhemaalın kulkeutuminen työtilaan. Ruiskutusprosessin aikana jauhemaalısäiliöön pumpataan paineilmaa, jolloin jauhe saadaan leijuvaan tilaan, joka pystytään helpommin ja tasaisemmin pumppaamaan jauheletkuja pitkin kohti jauhepistooleja. Jauhepistoolit hajottavat maalijauheen tasalaatuisiksi pilveksi ja varaavat jauhepartikkelit ruiskutuksen yhteydessä. Ruiskutusprosessin aikana tapahtuu aina myös ohiruiskutusta. Ohiruiskutettu jauhemaalı kerätään edelleen jauheammion lattialta jätteeksi tai uudelleen käyttöön. [3,6,7]

Jauhemaalın ruiskutuslaitteistolla tarkoitetaan ruiskutusprosessin mahdollistavia laitteita ja komponentteja. Ruiskutuslaitteisto on yksinkertaisuudessaan jauhesäiliöstä, jauhepumppusta, ohjausyksiköstä ja jauhepistooleista koostuva kokonaisuus. Jauhemaalauksen yksi suuri etu on se, että käytössä ollut jauhemaalı voidaan jättää laitteiston sekä letkujen sisään, kun maalaustyö lopetetaan. Sama laitteistoon jäänyt jauhemaalı voidaan ottaa seuraavana päivänä käyttöön ilman maalausammion tai letkujen puhdistamista. Jauhemaalauksilaitteet ovat varmatoimisia ja niiden huoltokustannukset ovat alhaiset. [6,7]

Kuvassa 3.1 on esitetty jauhemaalien ruiskutusprosessi sekä ilman kierto pikaväriin vaihtokammiossa ja taulukossa 3.1 pikaväriin vaihtokammion ruiskutusprosessin komponentit. [17]



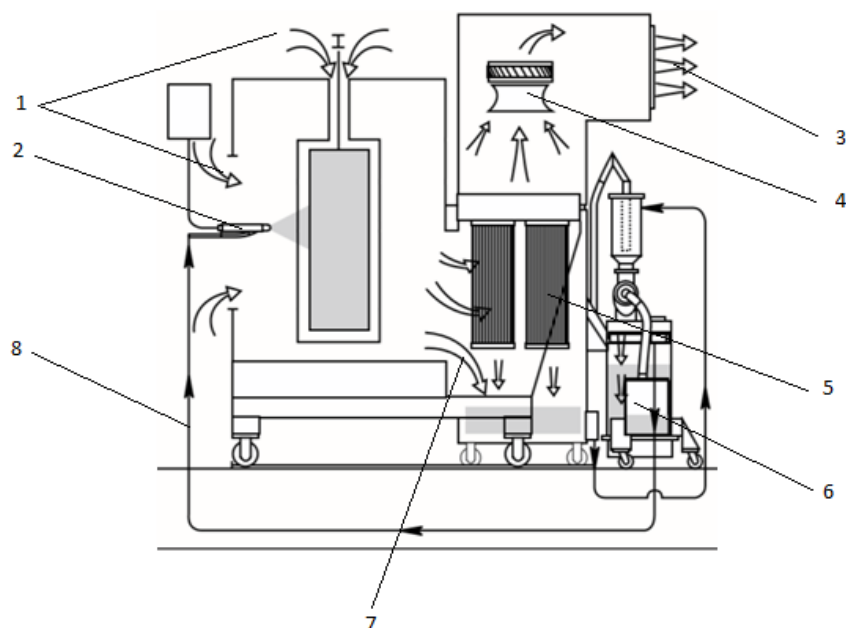
Kuva 3.1. Jauhemaalien ruiskutusprosessi pikaväriin vaihtokammiossa

Taulukko 3.1. Jauhemaalien ruiskutusprosessin komponentit kuvassa 3.1

B. Jälkisuodatin b1. Paineilmatukki b2. Jätesäiliö	C. Sykloni c1. Jauheseula c2. Jauhepumppu	A. Maalausammio a1. Traverssilaitteisto a2. Jauhepistoolit	D. Jauhekeskus d1. Leijutussäiliö d2. Jauhelaatikon as. paikka d3. Jauhepumppu d4. Jauheletkut
--	---	--	--

Kuvassa 3.1 on esitetty jauhemaalien ja ilman kierto pikaväriin vaihtokammiossa. Valkoisilla nuolilla on kuvattu poistoilman kulku putkistoissa. Oranssilla nuolilla on kuvattu ohiruiskutetun jauheen ja ilmaseoksen kierto järjestelmässä kohti suodattimia. Oranssilla viivoilla on taas kuvattu jauhemaalien eteneminen jauhepistoolille sekä jauhemaalien palautus syklonilta jauhekeskukselle uudelleentalionnin yhteydessä. [2,6]

Kuvassa 3.2 on esitetty jauhemaalien ruiskutusprosessi sekä jauheen eteneminen patruunasuodatinkammiossa. Taulukossa 3.2 on esitetty patruunasuodatinkammion komponentit. Korvausilma (1) imetään maalausammioon ruiskutustapahtuman yhteydessä, jolloin poistoilmapuhallin (4) siirtää ohiruiskutettua jauhemaalaa (7) kohti patruunasuodattimia (5). Suodatettu poistoilma (3) palautetaan takaisin hallitilaan. Jauheseiliössä oleva jauhemaalaa pumpataan ruiskutusprosessin aikana jauhepistoolille. [7]



Kuva 3.2. Jauheenruiskutusprosessi patruunasuodatinkammiossa

Taulukko 3.2. Jauheenruiskutusprosessin komponentit kuvassa 3.2

- | |
|----------------------------------|
| 1. Korvausilma |
| 2. Jauhepistooli |
| 3. Suodatettu poistoilma |
| 4. Poistoilmapuhallin |
| 5. Patruunasuodattimet |
| 6. Jauhesäiliö ja leijutussäiliö |
| 7. Ohiruiskutettu jauhemaali |
| 8. Jauheletkut |

3.2. Koronapistoolit eli sähköstaattiset pistoolit

Sähköstaattisessa varausmenetelmässä pistoolien päässä on erillinen varauspää eli elektrodi, jonka avulla jauhehiukkasia varataan. Elektrodiin eteen muodostetaan sähkökenttä, johon muodostuu vapaita elektroneja. Vapaat elektronit varaavat sähkökentän läpi menevät jauhehiukkaset ja jauhemaali varautuu pistoolin ulkopuolella. Kaikki jauhepartikkelit eivät varaudu ja varautumattomat partikkelit päätyvät kammion lattialle joko jäte- tai kierrätysjauheeksi. Menetelmässä tarvitaan erillinen, ulkoinen jännitelähde, jolla jauhe varataan. Varausjännitettä ja -virtaa säädetään jauhemaalauslaitteen ohjausyksiköstä. koronapistoolilla maalataan usein suuria tasopintoja ja ovia. Hyviä ominaisuuksia sähköstaattisessa varausmenetelmässä ovat monipuoliset ja tarkat säätömahdollisuudet. Nykyisin levymäisille, kulmikkaille ja uudelleenmaalaukseen tuleville kap-

paleille on laitevalmistaja tehnyt omat valmiit ohjelmat, jotka helpottavat maalausprosessia. [6,7]

Virran säätö ohjausyksiköstä vaikuttaa jauheen tasoittuvuuteen ja tunkeumaan kappaleen pinnalla. Korkea virta saa jauheen kiinnittymään lähimpään maadoitettuun paikkaan, kun taas matala virtataso saa jauheen tunkeutumaan syvälle kappaleen sisälle. Korjattaessa vanhoja tai huonosti jauhemaalattuja kappaleita, vanha maalikerros toimii eristeenä ja maalaus on hankalaa. Maalaus onnistuu kuitenkin kohtalaisesti, kun säädetään ohjausyksiköstä virta-arvoa mahdollisimman pieneksi. [9]

Jännitteen säätö taas vaikuttaa jauheen varautumiseen ja edelleen jauheen ruis-kutushyötysuhteeseen. Sähköstaattisessa varausmenetelmässä käytetään tyypillisesti 40-100kV korkeajännitettä. Jännitetaso valitaan kappaleen muodon perusteella. Suuri jännitetaso vaikuttaa jauhemaalain varautuvuuteen, mutta myös lisää faradayn- häkki-ilmiötä, jossa jauhepinnan paksuus vaihtelee kappaleen tasaisilla pinnoilla ja kulmissa. Sähköstaattinen maalaustapa sopii kaikille jauhetyypeille. Kuvassa 3.3 on esitetty koronapistooli ja varautuneita jauhehiukkasia (1.) ja maalattava kappale (2.). [9]



Kuva 3.3. Koronapistooli

Huonoja ominaisuuksia sähköstaattisessa varausmenetelmässä ovat faradayn häkki-ilmiö, sekä vaikea kappaleiden uudelleenmaalaus maalattaessa kulmikkaita kappaleita. Faradayn häkki-ilmiöstä johtuva epätasainen varausten jakautuminen aiheuttaa jauheen leviämisen epätasaisesti kappaleen pinnalle. Faradayn häkki-ilmiötä voidaan pienentää korona-pistooleihin asennettavalla kuvan 3.4 mukaisella super corona (1.) lisävarusteella, jossa jauhepistooliin asennetaan rengas, joka maadoittaa (positiivisesti) ylimääräisiä negatiivisia jauheioneja, mutta jättää kuitenkin varauksen riittävään osaan jauheioneista. Super corona – menetelmää käytetään maalattaessa erityisesti kulmikkaita kappaleita, kuten peilikaappeja. [6]



Kuva 3.4. Koronapistooli varustettuna super corona –lisävarusteella

Kuvassa 3.5 on esitetty kulmikkaan kappaleen eteneminen maalausammiossa. Kammiossa olevissa jauhepistooleissa on kaikissa Super corona -lisävaruste. [6,7]



Kuva 3.5. Kulmikkaiden kappaleiden jauhemaalaus

3.3. Tribo- eli kitkavarauispistoolit

Kitkavarausmenetelmässä jauhehiukkaset varataan jauheletkujen sisäpuolella olevassa nylon- jauheletkussa ja hankautuessa sen seinämiin. Mitä pidempään jauhehiukkanen on kontaktissa seinämän kanssa sekä mitä suuremmalla voimalla jauhe seinämiin iskeytyy, sitä voimakkaampi on jauheen varaus. Varautuminen perustuu jauheen ja putken muovilaatujen väliseen elektronegatiivisuuseroon. Yleensä kitkavaraukseen perustuvien pistoolien letkujen seinämissä käytetään PTFE nimistä ainetta. Jauhe varautuu kitkavarausmenetelmässä plusmerkkiseksi. Kitkavaraukseen perustuvissa pistooleissa jauhepartikkeleiden kokojakaumalla on suuri merkitys jauheen varautumiselle. Jauheen ruiskutusmäärät ovat pienempiä kitkavaraukseen perustuvissa pistooleissa kuin korona- varukseen perustuvassa menetelmässä, joten maalaussovelluksissa käytetään yleensä monihaaraista pistoolia, jossa ulostulevan, varatun jauhemaalın määrää saadaan kasvatettua käyttämällä rinnakkain useampaa varaavaa jauheletkua ja jauhesuutinta. [6,7]

Kitkavaraukseen perustuvassa jauheenvarausmenetelmässä ei tarvita erillistä jännitelähdettä. Kitkavarausmenetelmässä pistoolin ja maalattavan tuotteen välille ei muodostu sähkökenttää eikä näin ollen ole vaarana faradayn häkki-ilmiötä. Tämän takia kitkavaraukseen perustuvissa pistooleissa pintakäsittelyn kannalta tärkeä rooli on ilma- virralla, jolla jauhehiukkasia lennätetään kohti kappaletta. [7]

Kitkavarauuspistoolien hyviä ominaisuuksia ovat sähkökentän puuttuminen, mahdollisuus uudelleenmaalaukseen. Huonoja puolia kitkavarauspistooleissa taas on pieni kapasiteetti, jauheen varaamisen hallinnan vaikeus ja kiertojauheen huono varautuminen uudelleenkäytössä. [6,7]

Kitkavarausmenetelmässä ohiruiskutettua jauhemaalia ei pystytä tehokkaasti kierrättämään maalausammion ja ruiskujen välillä. Mikäli ohiruiskutettua jauhetta halutaan hyödyntää uudelleen, siihen on lisättävä 50 % uutta jauhetta, jotta varaus onnistuu. Kuvassa 3.6 on esitetty useampihaarainen tribo- pistooli. Kitkavarauslaitteet ovat herkempiä jauheen ominaisuuksille, kuten lämpötilalle ja kosteudelle. Tiedetyt värisävyt ja pulverilaadut eivät varaudu lainkaan kitkavarausmenetelmässä. [6]



Kuva 3.6. Kitkapistooli

3.4. Leijupetimenetelmä

Leijupetimenetelmällä tarkoitetaan maalaustapaa, jossa 230–450°C esilämmitetty jauhemaalattava kappale upotetaan jauhesäiliöön 2–10 sekunnin ajaksi. Jauhemaali sulaa kuuman kappaleen pinnalle ja muodostaa täyteläisen pinnan myös vaikeasti maalattaviin kohtiin. Upotuksen jälkeen kappaleen pinnalla olevat ylimääräiset jauhepartikkelit poistetaan puhaltamalla paineilmaalla. Jauhesäiliöön pumpataan puhdistettua paineilmaa, jonka avulla jauhemaali saadaan juoksevaan olotilaan. Menetelmää käytetään yleensä suurille valukappaleille, joihin halutaan saada paksu jauhekerros. Yleensä tekniikalla saadaan aikaan vaihtelevia kerrospaksuuksia väliltä 250µm ja 500 µm. Maalikerroksen paksuutta on vaikea hallita ja siksi maalaustapaa käytetään yleensä vain teollisessa maalauksessa ja erityisesti lämmöstä kovettuvien jauhemaalien kanssa. Leijupetimenetelmään pätee perinteiset jauhemaalauksen vaatimukset myös esikäsittelyn osalta. Menetelmää käytetään esimerkiksi maalattaessa suuria paperikoneen osia tai valukappaleita. [1]

Menetelmä sopii erityisesti vaikeasti maalattavien kappaleiden ja etenkin verkomaisten kappaleiden maalaukseen. Leijupetimenetelmää ei voida käyttää sellaisten

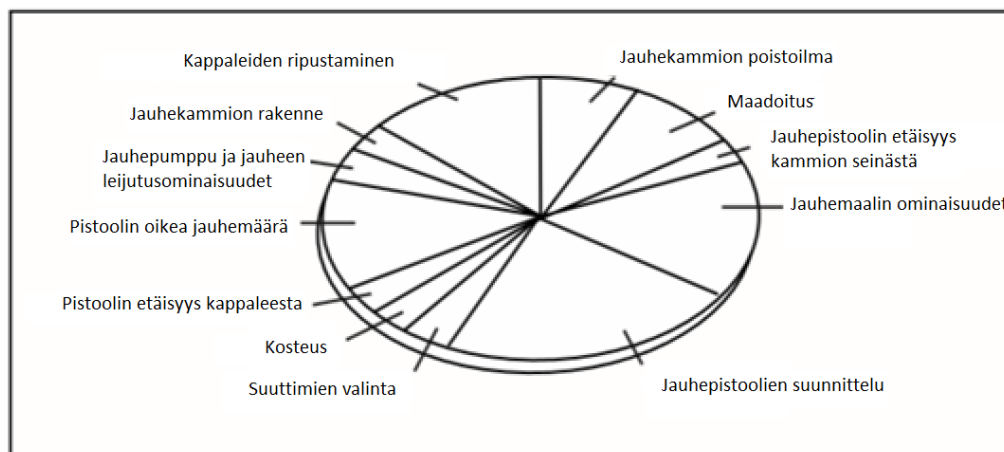
tuotteiden maalaukseen, jotka muuttavat suuresti lämmittäessä muotoaan tai muodostavat prosessin aikana kaasuja. [1]

Tässä diplomityössä käsitellään jauhemaalain ruiskutusprosessia ja värienvaihtoa vain sähköstaattisilla maalauslaitteilla.

3.5. Ohiruiskutus ja siirtohyötysuhde

Ohiruiskutuksella tarkoitetaan sitä jauhemäärää, jota ruiskutusprosessin aikana ei saada kiinnittymään maalattavaan kappaleeseen tai maalijauhe kimpoaa ruiskutuksen aikana pois kappaleen pinnalta liiallisen ilmavirran vuoksi. kammion lattialta ja seiniltä kerätty ohiruiskutettu jauhemaalali päätyy joko jätejauheeksi tai se voidaan kerätä ja käyttää maalausprosessissa uudelleen. Ohiruiskutusta syntyy myös ruiskutusprosessin aikana varautumattomista jauhehiukkasista, joita ei saada kiinnittymään maalattavaan kappaleeseen. Ohiruiskutus riippuu suuresti kappaleen muodosta. Pienintä ohiruiskutus on levymaisilla kappaleilla ja suurinta moniulotteisilla moni syvyisillä ja verkkomaisilla kappaleilla. Ohiruiskutuksen on laskettu olevan jauhemaalauksessa keskimäärin noin 50 % tuoreen ruiskutettavan jauhemaalain määrästä. Tähän määrään vaikuttavat useat yksittäiset komponentit, joista suurimmat ovat jauhepistoolien säätöarvot, kappaleiden ripustaminen kuljetinradalle, jauhepistoolien etäisyys maalattavasta kappaleesta ja jauhepistoolien rakenne ja määrä. Erityisesti alihankinta- ja rahtimaalaamoissa ohiruiskutuksen pienentämiseen vaikuttaviin säätöarvoihin on hankala vaikuttaa suuren erimuotoisen tuotevalikoiman vuoksi. Lisäksi yhtenä ohiruiskutukseen vaikuttavana yksittäisenä parametrinä on jauhesuuttimien oikea valinta. [9]

Kuvassa 3.7 on esitetty ohiruiskutukseen vaikuttavat parametrit jauhemaalauksessa. Kuvasta nähdään, että aiemmin mainittujen asioiden lisäksi vaikutusta on myös maalaamon ilmankosteudella ja erityisesti kappaleen maadoitusominaisuuksilla. Ohiruiskutus on suurempaa uudelleen jauhemaalattavilla kappaleilla, koska vanha jauhemaalali toimii eristeenä eikä jännite-eroa ruiskulaitteiden ja kappaleen välille synny. Myös jauhemaalattavan kappaleen maadoitusongelmat sekä huonot jauhemaalit, joissa varautumis- ja peittokyky on huono, vaikuttavat ohiruiskutuksen määrään. [2,15]



Kuva 3.7. Ohiruiskutukseen vaikuttavat tekijät

Jotta ohiruiskutetun jauheen kerääminen kannattaa, on ohiruiskutetun jauheen määrän oltava taloudellisesti niin arvokas, että se kannattaa kerätä talteen kammion seiniltä ja lattialta. Ohiruiskutus on jauhekammion valinnan tärkein yksittäinen kriteeri värivalikoiman ja värinvaihtojen rinnalla. Olemassa olevasta maalausammioista huolimatta ohiruiskutukseen tulee kiinnittää huomiota.

Siirtohyötysuhteella taas tarkoitetaan kappaleeseen kiinnijäävää jauhemaalia. Siirtohyötysuhdetta nimitetään yleisesti TE- luvuksi (engl. Transfer efficiency). 100% siirtohyötysuhteella tarkoitetaan sitä, että kaikki jauhepistooleista ulos tuleva jauhemaali saadaan kiinnittymään kappaleeseen kiinni. Siirtohyötysuhde pyritään maksimoimaan ruiskujen säädöillä sekä ripustuksella. Tavoitteena on mahdollisimman suuri siirtohyötysuhde, jotta kierrätettävää jauhetta tai jauhejätettä syntyisi mahdollisimman vähän. [9]

Siirtohyötysuhdetta saadaan parannettua ripustamalla maalattavia kappaleita mahdollisimman lähekkäin toisiaan. Suuri siirtohyötysuhde vähentää ohiruiskutetun jauhemaalin määrää ja samalla myös vaikuttaa värinvaihdon kannattavuuteen. Pienin siirtohyötysuhde on verkkomaisilla kappaleilla ja suurin taas vastaavasti isoilla levymäisillä kappaleilla. Siirtohyötysuhteeseen vaikuttavat myös lämpötila, kosteus, sähköstaattisten maalauslaitteiden oikeat jännite- ja virta-arvot ja mahdolliset kappaleen maadoitusongelmat. Kierrätetyn jauhemaalin hyödyntäminen voi nostaa siirtohyötysuhteen jopa 90%:iin. Jopa 5-10 % siirtohyötysuhteen parantamisella on suuri merkitys ohiruiskutukselle ja jauhemaalin kulutukselle. [9]

3.6. Ohiruiskutuksen vähentäminen

Maalausammiossa tapahtuvaa ohiruiskutusta voidaan vähentää kiinnittämällä huomiota erityisesti kappaleiden ripustamiseen. Kappaleet tulisi ripustaa mahdollisimman lähekkäin toisiaan, jotta siirtohyötysuhde saataisiin mahdollisimman suureksi. Vaikeasti maalattavat moniulotteiset kappaleet tulisi maalata käsilaittein automaattilaitteiden sijaan. Jauhepistoolit ruiskuttavat noin 10kg jauhemaalia tunnissa. Kuvassa 3.8 on esitetty kaasupullojen jauhemaalaus



Kuva 3.8. Kaasupullojen jauhemaalaus

Ohiruiskutusta pystytään kontrolloimaan säätämällä jauhepistoolien ruiskutuksen liipaisu mahdollisimman lähelle maalattavaa kappalevirtaa. Liipaisu jaotellaan ruiskutuksenakoon ja ruiskutusjättöön. Ruiskutusennakolla tarkoitetaan pistoolien laukaisun aloittamista ennen kappaleen saapumista maalauskenttään. Ruiskutusjätöllä taas tarkoitetaan ruiskutuksen lopettamista kun kappale on ohittanut jauhepistoolit. Pikavärienvaihtokammiossa ruiskutusennakon ja ruiskutusjätön säätäminen on tehty mahdollisimman pieneksi hyödyntämällä mittaavaa valoporttia, joka kytkee tarpeen mukaan maaliruiskuja toimintaan, jotka ovat kappaleen maalausalueella. Maattavista kappaleista riippuen pistoolien suuttimien valintaan tulee kiinnittää huomiota. [6,7]

Ohiruiskutusta saadaan lisäksi vähennettyä käyttämällä vaakasuuntaisten tasaisten pintojen maalaukseen kiinteitä maaliruiskuja. Kiinteiden ruiskujen määrä määräytyy kappaleen leveyden perusteella. Lisäksi traverssilaitteiden yhteydessä on käytössä jauhepistoolien asemointilaitteita, jotka siirtävät jauhepistoolia lähemmäksi maalattavaa tuotetta erityisesti tilanteissa, joissa maalataan erimuotoisia kappaleita. Kappaleiden mittaukseen käytetty valoportti säätää asemointilaitteita maalattavien kappaleiden leveyden perusteella. Kappaleiden ripustimien puhdistaminen vaikuttaa myös ohiruiskutukseen. Likaiset ripustimet voivat toimia eristeinä, jolloin sähköstaattinen maalaustapa ei onnistu, eikä jauhemaali kiinnity kappaleeseen. [6,7]

3.6.1. Jauhepistoolin suuttimien valinta

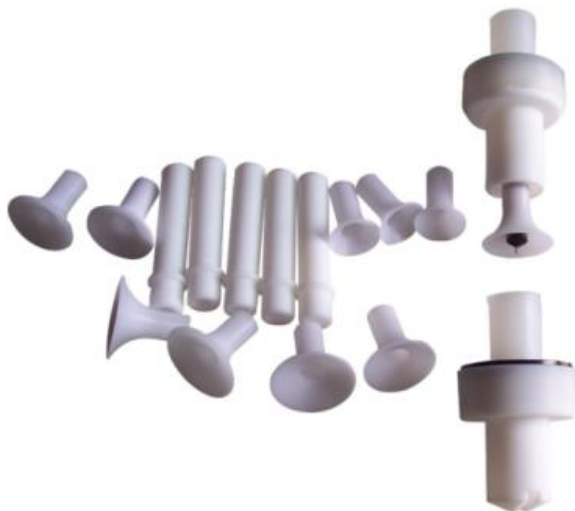
Jauhemaalien levittämiseen ja suuntaamiseen kohti maalattavaa kappaletta käytetään jauhepistoolin päässä olevia jauhesuuttimia. Jauhesuuttimien avulla jauhepistoolista tulevaa jauhemaalien ja ilmavirran seosta pystytään kontrolloimaan ja ohjaamaan. Lisäksi ilmavirran avulla estetään jauheen kerääntyminen jauhesuuttimeen. Jauhesuuttimeen ohjattavaa ilmavirtaa nimitetään huuhteluilmaksi. Huuhteluilman määrä riippuu jauheesta ja sen sintraantumisesta. Jauhesuuttimien päässä on myös jauheen varaamiseen käytetty elektrodi. [15]

Jauhepistooleihin on saatavissa erilaisia viuhka- sekä pyörösuuttimia, jotka vaikuttavat pistoolien sumuttaman jauhepilven muotoon. Pyörösuuttimen muodostavat tasaisen pyöreän pilven kappaleen eteen, jolloin sähköstaattikka kiinnittää jauheen maalattavaan kappaleeseen. Pyörösuuttimien päässä olevan lovetun aukon ansiosta jauheesta muodostuu soikea kuvio. Pyörösuuttimia on saatavana erilaisilla hajotuslevyn halkaisijoilla, jossa paksuudesta riippuen on vaikutusta jauhemäärän sekä jauhepilven liikenopeuteen. Hajotuslevyllä muutetaan pistoolista ulostuleva jauhesuihku jauhepilveksi.

Pyörösuuttimia käytetään maalattaessa ritiläpintoja tai ohuita lankamaisia verkkoja. [6]

Viuhkasuuttimet taas muodostavat viuhkamaisen jauhepilven ja antavat jauheelle selvän liikesuunnan ja nopeuden. Viuhkasuuttimilla voidaan paremmin maalata kulmikkaita kappaleita ja näiden suuttimien avulla jauheella on parempi tunkeutuvuus kappaleen nurkkiin. Viuhkasuuttimia on saatavana erilaisilla rakojen leveyksillä. Kapeasta raosta jauhe tulee suuremmalla nopeudella kuin leveästä. Viuhkasuuttimet ovat nykyisin

yleissuuttimia jauhemaalauksessa. Kuvassa 3.9 on kuvattu erilaisia jauhesuuttimia. Oikealle kuvassa on viuhkasuuttimia ja vasemmalla pyörösuuttimia. [6]



Kuva 3.9. Jauhesuuttimia

3.7. Vertailtavat kammiotyypit

Työssä vertaillaan jauhemaalauksen värienvaihdon kannattavuutta kahdella eri maalijauheen uudelleentaltiointimenetelmällä. Tutkimuksen ulkopuolella olevista kammioratkaisuista on esitelty alumiiniprofilien jauhemaalauksessa käytetty kammioratkaisu sekä yksinkertainen syklonierotuskammio. Vertailu perustuu kahteen eri ilman ja jauhemaalain erotustapaan.

Jauhemaalai voidaan erottaa ilmasta patruunasuodattimien tai syklonierotuksen avulla. Patruunasuodattimet ovat kiinteitä suodatinmoduuleita, joissa suodatinkankaan erotuskyky kattaa jauhemaalihiukkasista 99.9%. [6,7]

Syklonierotus taas perustuu jauheen ja ilman seoksen saattamiseen voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen, jolloin keskipakoisvoima erottaa raskaimmat jauhehiukkaset syklonin reunoille ja edelleen sieltä syklonin pohjalle. Syklonierotuskammion erotusaste on noin 90 %. Syklonierotuskammion jälkeen on mahdollista asentaa erillinen jälkisuodatin, jossa ohiruiskutetun jauhemaalain pienimmät hiukkaset suodatetaan. Jälkisuodattimessa suodatettu puhdistettu poistoilma palautetaan hallitilaan.

Molemmat kammiotyypit ovat teollisuudessa käytössä ja niiden avulla maalataan erimuotoisia kappaleita. Seuraavaksi esitellään vertailtavien patruunasuodatinkammion ja pikavärienvaihtokammion rakenne ja toiminta. Maalauskammiot räätälöidään maalattavien tuotteiden koon mukaan. [6,7]

3.7.1. Pikavärienvaihtokammiot

Pikavärienvaihtokammiot ovat suunniteltu rakenteensa puolesta useiden värienvaihtojen päivittäiseen toteuttamiseen ja niiden valmistuksessa on otettu huomioon ohiruiskutetun

jauhemaalain kierrätys ja kammion puhdistusta helpottavat rakenteelliset ominaisuudet. Pikavärinvaihtokammiot on rakennettu yleensä sähköä johtamattomasta materiaalista, kuten lasista tai PVC- muovista. Sähköä johtamattoman materiaalin käytöllä pyritään helpottamaan kammion siivousta ja lyhentämään värinvaihtoon kuluva aikaa. Pikavärinvaihtokammion pohja on erityisesti suunniteltu jauhemaalain poistamiseen ja poistoilmavirran ohjaamisessa on käytetty hyväksi automaatiota. [1,7]

Kuvassa 3.10 vasemmalla on esitetty sveitsiläisen Gema AG:n valmistama pikavärinvaihtokammio toiminnassa. Kuvan 3.10 oikealla on esitetty pikavärinvaihtokammion komponentit. Kuvassa keskellä on maalausammio, oikealla ruiskulaitteiden ohjausyksiköt. Vasemmalla on esitetty jauhekeskus ja jauhekeskuksen takana sykloni ja jälkisuodatin.



Kuva 3.10. Pikavärinvaihtokammio toiminnassa

3.7.2. Syklonierotuskammio

Toinen mahdollinen kammiotyyppi on pikavärinvaihtokammiota muistuttava syklonierotuskammio, jossa jauhemaalain talteenottolaitteena käytetään jokaiselle värille omaa sykklonia. Maalausammiota ei ole suunniteltu useisiin päivittäisiin värinvaihtoihin eikä kammion materiaaleihin ole kiinnitetty erityistä huomiota. Syklonierotuskammiot on yleensä rakennettu RST- tai haponkestävästä teräksestä. [6,7]

Syklonierotuskammion erotusase on noin 90 %, mikä on patruunasuodatinkammiota heikompi. Syklonit eivät talteenoton yhteydessä kerää kaikkein hienojakoisinta jauhe- maalia, joten sillä talteen otettu jauhemaalain sopii paremmin uudelleenkäyttöön kuin patruunasuodatinkammiolla. Syklonierotuskammiot olivat käytössä erityisesti 1990- luvulla yrityksissä joissa oli hyvin rajoittunut värivalikoima. [6]

3.7.3. Patruunasuodatinkammio

Kolmannessa vertailtavassa kammioratkaisussa ilman ja maalijauheen erottamiseen toisistaan hoidetaan vaihdettavilla suodatinmoduuleilla eli patruunasuodattimilla, joiden jauhemaalien erotusaste uutena on 99.9 %. Patruunasuodattimet erottavat myös jauhe-maalaukselle hyödyttömät pienet jauhehiukkaset, jotka eivät ruiskutusprosessin aikana varaudu. Patruunasuodatinkammion pohja on kiinteä, eikä siinä ole pikavärvinvaihtokammion mukaista ulkopulista jauhemaalien puhdistus ja talteenottojärjestelmää. Jauhemaalilla pidetään hallitusti maalausammion sisällä imemällä ohiruiskutettu jauhemaalikohti patruunasuodattimia. Suodattimien toiminta taataan puhdistusautomaatiikalla, jossa suodattimiin pumpataan tasaisin väliajoin paineilmapulsseja, jotka puhdistavat suodattimen ulkopinnan. Puhdistuksen yhteydessä patruunasuodattimen pinnassa oleva jauhemaaliputoaa kammion lattialle. Kammion lattialle pudonnut jauhepöly kerätään edelleen jauhesäiliöön. Kammion sisällä on yleensä useampi suodatinpatruuna keräämässä jauhepölyä ja myös suodattimien läpi imetty poistoilma saadaan näin tasaisemmaksi. Patruunasuodattimilla suodatettu ilma palautetaan puhdistettuna huonetilaan. [6,7]

Kuvassa 3.11 on kuvattu patruunasuodatinkammio. Kammion vasemmalla puolella on maalaustraverssi ja kammion oikealla puolella käsipistooli korjausmaalaukseen.



Kuva 3.11. Patruunasuodatinkammio

Patruunasuodatinkammio on yleensä rakennettu RST- elementeistä, eikä sähköä johtamattomia materiaaleja ole kustannussyistä käytetty. Patruunasuodatinkammiot ovat edullisia ja soveltuvat hyvin pienille tuotantomäärille, jossa on päivittäin useita lyhyiden maalaussarjojen värvinvaihtoja ja maalaus suoritetaan käsilaitteilla tai automaattilaitteilla. Ohiruiskutettua jauhetta pidetään pienien maalattavien sarjojen yhteydessä yleensä jätejauheena, joka tulee ajoittain kerätä kammion lattialta ja toimittaa se edelleen käsiteltäväksi kaatopaikalle. Kuvassa 3.12 on kuvattu patruunasuodatinkammion sisäpuolella olevat irrotettavat suodatinpatruunat. Patruunasuodatinyksiköt ovat standardipakette-

ja, joissa on 4500m³/h poistoimu. Kuvassa 3.13 on kuvattu patruunasuodatinkammio sisäpuolelta. [6.7]



Kuva 3.12. Irrotettavat suodatinpatruunat uutena



Kuva 3.13 Patruunasuodatinkammio sisältä

4 VÄRINVAIHTO JA UHEMAALAUKSESSA

Väri­vaihdolla tarkoitetaan vanhan jauheen­ruiskutusprosessin lopettamista ja uuden väri­pigmentin omaavan jauhe­maal­in ruiskutuksen aloittamista. Väri­vaihdon aikana tuotantoon syntyy katkos, ja väri­vaihdon kannattavuutta on arvioitava maalatun erän suuruuden ja käytetyn jauhe­määrän perusteella. Väri­vaihto tarkoittaa yksinkertaisuudessaan vain jauhe­le­tkujen puhdistamista vanhasta jauheesta ja tällöin pidetään ohiruiskutettua jauhetta jäte­jauheena. Väri­vaihto voidaan tehdä myös siten, että jauheen ruiskutusprosessin loputtua vanhan väri­pigmentin jauhe­maalihiukkaset taltioidaan ja käytetään myöhemmin ruiskutusprosessissa uudelleen. Täydellinen väri­vaihto tulee toteuttaa siten, ettei vanhan jauhe­maal­in partikkeleita joudu uuteen jauheeseen. Tämä tarkoittaa maalauskammion perusteellista siivousta paineilmasuuttimien avulla. Väri­vaihto on maalaamossa tapahtuma, joka vaatii paljon tarkkuutta maalaamo­a hoitavilta ihmisiltä kammioiden siivouksen muodossa. Väri­vaihdon yhteydessä vanhan väri­n taltioi­minen on kannattavaa, jos ohiruiskutetun jauhe­maal­in arvo on suurempi kuin linjan seisottamisesta, kammion puhdistamisesta ja tuotannon menetyksestä koituvat kustannukset. [2]

Valmistajat ovat ilmoittaneet värinvaihtoon kuluvat ajat, joiden lyhentäminen voi pahimmassa tapauksessa pilata koko värinvaihdon jälkeisen maalauserän eri väripigmenttien sekoittumisella. Tämän takia värinvaihto tulisi aina toteuttaa asteittain vaa-leista värisävyistä tummempaan. Näin muutaman väärän jauhehiukkasen joutuminen kappaleeseen ei välttämättä pilaa maalattua tuotetta. Vaikeinta värinvaihto on siirryttä-essä vastaväristä toiseen, esimerkiksi mustasta valkoiseen. Maalaukskammioiden ruisku-tusprosessin hallinnassa ja kestossa käytetään paljon tuotannonohjausjärjestelmiä, jotka määrittelevät värinvaihdon ajankohdan ohiruiskutetun jauhemaalın määrän ja hinnan perusteella. [7]

Nykyisillä pikavärinvaihtokammioilla kammion siivoukseen ilmoitetaan kuluvan aikaa noin 15 minuuttia, ja patruunasuodatinkammion siivoukseen taas noin 2 tuntia. Lisäksi tutkimuksessa on esitelty värinvaihtotapahtuma alumiiniprofiilien maalauksessa, jossa värinvaihdon kestoksi ilmoitetaan kuluvan noin 5 minuuttia. Värinvaihdon todellinen aika riippuu vanhan ja uuden jauhemaalien värierosta ja maalattavien tuotteiden loppusijoituspaikasta ja laatuvaatimuksista. Laatuvaatimuksilla tarkoitetaan tuotteen ja pinnan visuaalisia piirteitä. Värinvaihtoon tulee kiinnittää enemmän huomiota, jos tuotteet ovat kulutuselektroniikkaa kuin koneenosia. Pikavärinvaihtokammiossa ja patruunasuodatinkammiossa olevaa ohiruiskutettu jauhemaalia voidaan olla myös keräämättä talteen, jolloin puhutaan jauheen ruiskuttamisesta jätteeksi. [3]

Moni Suomessa toimiva maalaamo on lisännyt pikavärinvaihtokammion perään yksinkertaisen patruunasuodatinkammion, jossa maalataan käsilaittein pieniä tuotan-

toeriä. Tuotantoerät sekä jauhemaalain kulutus on laskettu, ja niiden perusteella arvioidaan pikaväriinvaihtokammion käytön tarpeellisuus ja kannattavuus.

4.1. Ruiskutus jätteeksi (engl. Spray to waste)

Nopein väriinvaihto jauhemaalaaamossa saadaan aikaan vain puhdistamalla jauheletkut ja pitämällä ohiruiskutettua jauhetta jätejauheena. Nykyisin saatavilla olevat jauhepistoolit puhdistavat itse itsensä paineilman avulla, joten väriinvaihdon epäonnistumisen todennäköisyys on hyvin pieni. Jauheletkujen puhdistuksen yhteydessä käyttäjän on vaihdettava eri värisävyyn jauhelaatikko jauhekeskukseen. Huonona puolena kyseisessä maalaustyylissä on suuri jätejauheen muodostuminen. Kuitenkin, jos tuotantoprosessissa on odotettavissa useita väriinvaihtoja päivittäin ja maalattavat erät ovat pieniä, on tämä todennäköisesti kannattavin ja suositeltavin vaihtoehto. Tutkimusten mukaan vain jauheletkujen puhdistaminen kestää noin 20-60 sekuntia. Suomessa alihankinta- ja rahtimaalaaamot käyttävät yleisesti kyseistä maalaustapaa tuotevalikoiman ja maalattavien värisävyjen ollessa suuria. Tämä väriinvaihtotapa kuitenkin tulee kannattamattomaksi maalaaamossa, jossa ruiskutetaan paljon saman värisävyyn maaleja tai siirtohyötysuhteet ovat hyvin pieniä. Ruiskutettaessa jauhe jätejauheeksi, tulee kustannuksia arvioitaessa ottaa mukaan myös jätejauheen siivoamisesta ja hävittämisestä koituvat kustannukset. [3]

4.2. Väriinvaihto patruunasuodatinkammiossa

Väriinvaihto patruunasuodatinkammiossa toteutetaan yleensä pienien maalauserien kanssa siten, että vain jauheletkut puhdistetaan ja ohiruiskutettua jauhetta pidetään jätejauheena. Patruunasuodatinkammiossa on myös mahdollista kerätä ohiruiskutettu jauhemaalitalteen kammion lattialta, mutta tällöin joudutaan väriinvaihdon yhteydessä vaihtamaan jokaiselle värisävyille omat patruunasuodattimet. Väriinvaihdon yhteydessä vanhan värin suodatinpatruunat irrotetaan ja varastoidaan esimerkiksi muovisäkkeihin. Ohiruiskutettu jauhemaalikerätään kammion lattialta lastalla talteen. Täydellinen väriinvaihto on hankalampi toteuttaa patruunasuodatinkammiossa kuin pikaväriinvaihtokammiossa. Väriinvaihdon kestoksi on patruunasuodatinkammiossa ilmoitettu 2 tuntia, kun ohiruiskutettu jauhemaalihalutaan herätä talteen kammion lattialta ja kammio siivotaan perusteellisesti. [3]

Kuvassa 4.1 on esitetty käytössä olleet patruunasuodattimet. Vanhoista suodatinpatruunoista ei saada puhdistettua vanhan värisävyyn jauhehiukkasia tarpeeksi tehokkaasti vaan jokaiselle uudelle värille on oltava omat patruunasuodattimet.



Kuva 4.1. Käytössä olleet patruunasuodattimet

4.3. Värienvaihto pikavärienvaihtokammiossa

Värienvaihto pikavärienvaihtokammiossa voidaan toteuttaa joko taltioimalla ohiruiskutettu jauhemaali tai pitämällä ohiruiskutettua jauhetta jätejauheena. Pikavärienvaihtokammio on kuitenkin nimensä mukaisesti suunniteltu toistuviin värienvaihtoihin ja siinä ruiskutettavia jauhemaaleja suositellaan käytettävän aina uudelleen ja taltioimalla ruiskutusprosessin aikana ohiruiskutettu jauhemaali. [6]

Jauheen ruiskutustapahtuman päätyttyä pikavärienvaihtokammiossa suurin osa ohiruiskutetusta jauhemaalista päätyy painovoiman vuoksi kammion lattialle. Kammion seinille jää kuitenkin hienojakoisin jauhepöly huolimatta kammion sähköä johtamattomasta kammion materiaalista. Tämä hienojakoinen jauhepöly joudutaan värienvaihdon yhteydessä käsin siivoamaan. Pikavärienvaihtokammiossa on yleensä automaattiset ovet, jotka sulkeutuvat värienvaihdon yhteydessä. Ovien sulkeutumisella saadaan poistoilma pidettyä hallitusti kammion sisällä ja ohjattua sitä myös seinille. Kuvassa 4.2 on esitetty pikavärienvaihtokammion pohjan rakenne, joka helpottaa kammion siivousta ohjaamalla poistoilmavirtaa. [7,18]



Kuva 4.2. Pikaväriinvaihtokammion pohjan rakenne

Pikaväriinvaihtokammion rakenteisiin on lisätty automaattinen paineilmatoiminen puhdistus- ja siivousjärjestelmä, joka väriinvaihdon yhteydessä puhdistaa jauheletkut sekä maalausammion lattialle kertyneen ohiruiskutetun jauheen. Kammion lattialta ohiruiskutettu jauhemaalili imetään puhaltimen avulla syklonille. Jauheammion on rakennettu siten, että sen rakenteisiin tai kanaviin ei kerry jauhepölyä. Traverssit liikkuvat väriinvaihdon yhteydessä x-suunnassa ulos maalausammion ja samalla hetkellä jauhepistoolien varret puhdistetaan paineilman avulla maalipölystä. Automaattinen siivousjärjestelmä ei pysty kokonaan maalausammion puhdistamaan, vaan maalarin on mentävä kammion sisään ja paineilmapistoolilla puhdistettava seinät sekä osa kammion kulmiin jääneestä jauhepölystä. [6]

Jauhekeskuksen osalta maalari poistaa vanhan väripigmentin jauhelaatikon imuputkien alapuolelta ja käynnistää jauhekeskuksen ohjausjärjestelmästä puhdistustoiminnon. Maalari joutuu manuaalisesti kytkemään siivoustoiminnon yhteydessä paluuputken, joka syöttää kierrätetyn jauheen syklonilta takasin jauhekeskukselle. Lisäksi maalari joutuu puhdistamaan paineilmaruiskulla imuputkistot. Jauhekeskuksesta ohjataan ruiskutustapahtumaa sekä jauhepistoolien ohjausjännitettä ja – virtaa. Kuvassa 4.3 on esitetty pikaväriinvaihtokammion jauhekeskus. [3]



Kuva 4.3. Jauhekeskus

Jauhemaalilaatikko tai jauhesäkki asetetaan avonaisena jauhekeskukseen, jonka jälkeen jauhemaali pumpataan kuvassa 4.3 keltaiseen leijutussäiliöön. Leijutussäiliöön pumpataan paineilmaa, jolloin jauhemaali saadaan leijuvaan tilaan ja sen käsittely ja siirto helpottuu ja jauhe saadaan tasaisesti virtaamaan. Leijutussäiliöltä jauhe pumpataan jauheruiskuille. Jauhemaali on nestemäisessä pölytetyssä muodossa, jolloin jauheen virtaus on tasaista, eikä ruiskujen toiminnan tapahdu pöllähdyksiä tai katkoksia. [3]

Ohiruiskutettu jauhemaali kerätään edelleen jauhekammion lattialta karkeaerottimeen, eli sykloniin, jossa normaalit jauhehiukkaset lentävät painovoiman vaikutuksesta syklonin alapäähän, ja hienot jauhepartikkelit jatkavat matkaansa syklonin yläpäästä edelleen jälkisuodattimeen. Jälkisuodattimesta ilma palautetaan suodatuksen jälkeen kesällä ulos ja talvella takaisin hallitilaan. Ohiruiskutettu jauhemaali pumpataan syklonilta takaisin jauhekeskukselle ja se on mahdollista käyttää maalausprosessissa uudelleen. Puhdistusautomaattikka ei kuitenkaan pysty syklonia täysin puhdistamaan vaan syklonin rakenteisiin jää vanhan väripigmentin hiukkasia. Nämä hiukkaset joudutaan käsin puhdistamaan avaamalla sykloni ja puhaltamalla paineilmapistoolilla sykloni puhtaaksi. Syklonia puhdistettaessa jälkisuodattimen poistopuhallin on päällä ja imee syklonin sisäpuolelta irronneet hiukkaset. [6,18]

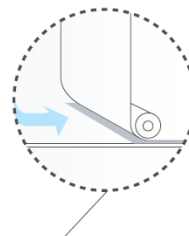
Värinvaihdon kestoksi pikavärinvaihtokammion valmistaja ilmoittaa noin 15 minuuttia. Aika riippuu kuitenkin kammion puhdistettavan ja uuden värisävyin sävyeroista. Vaikein värinvaihto tapahtuu siirryttäessä vastaväreistä toiseen, mustasta valkoiseen, jolloin jo muutama väärä väripigmentti näkyy valmiissa pinnassa. Tämän takia tulisi aina siirtyä asteittain vaaleista värisävyistä tummiin. Nykyisin voidaan hallita väristä toiseen siirtymistä esimerkiksi tuotannonohjausjärjestelmien avulla, jolloin rajataan vaikeat värinvaihdot pois. [3,7]

4.4. Värinvaihto alumiiniprofiilien maalauksessa

Ensimmäiset suuren kapasiteetin pystysuuntaiset alumiiniprofiilien jauhemaalauslinjat esiteltiin 1970-luvulla. Pystysuuntaisilla linjoilla tarkoitetaan maalattavan kappaleen ripustustapaa. Pystysuuntaisilla maalauslinjoilla saadaan aikaan suurempi tuotantokapasiteetti sijoitettuna pieneen tilaan verrattuna perinteisiin vaakasuuntaisiin maalauslinjoin. Linjojen korkeus on kuitenkin paljon tavanomaisia maalauslinjoja korkeampi, joka tuo haasteita esimerkiksi uunien lämpötilojen ja maalausammion poistoilman hallintaan. Tarve pystysuuntaisille alumiiniprofiilien maalauslinjoille syntyi rakennusteollisuuden vaateesta. Alumiiniprofiilien pituus on tyypillisesti 8m, ja profiilitangot ripustetaan pystysuuntaisesti. Alumiiniprofiilien maalauslinjoja on Suomessa kaksi kappaletta. [14]

Tällä hetkellä markkinoilla olevista maalausammioista nopeimmat jauhemaalinvärinvaihdot saadaan aikaan juuri pystylinjoilla. Valmistajat ilmoittavat värinvaihtoon kuluvan ajan olevan noin 5 minuuttia. Lyhyt värinvaihto aika johtuu siitä, että maalausammion automatiikka hoitaa täysimittaisesti maalausammion ja taltiointilaitteiden puhdistamisen. Maalarin tehtäväksi jää ainoastaan jauhekeskuksen puhdistaminen ja uuden jauhesäkin asettaminen jauhekeskukseen. Maalausammiot ovat rakennettu neljästä liikkuvasta kangasseinästä, joita pyörittävät vaihdemoottorit. Liikkuvat kangasseinät siirtävät ohiruiskutettua jauhemaalaa kohti ammion lattiaa värinvaihdon yhteydessä. Ammion lattialla on tela, joka puhdistaa kaikkia neljää liikkuvaa kangasseinää. Tela hoitaa ammion puhdistamisen, eikä ammio vaadi ihmisvoimin tehtävää puhdistusta, kuten pikavärinvaihtokammiot ja patruunasuodatinkammiot. Maalausammion alapuolella on säiliö, joka puhdistaa traverssilaitteiston päässä olevat maaliruiskut värinvaihdon yhteydessä. Alumiiniprofiilein maalauksessa ruiskutusmäärät ovat huomattavasti suuremmat, kuin perinteisissä maalausammioissa ja myös alumiiniprofiilien muodosta johtuen ohiruiskutusmäärät. [14]

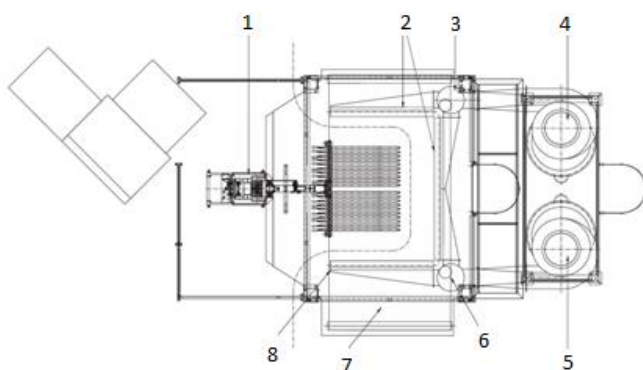
Kuvassa 4.4 on esitetty traverssilaitteisto, jonka päässä maaliruiskut liikkuvat edes takaisin maalausammion sisällä. Maalausammiossa on vain yksi traverssilaitteisto ja ruiskutusprosessin aikana alumiiniprofiileja pyöritetään akselin ympäri, jotta jauhemaalaa saadaan kiinnittymään profiilin pinnalle. [14]



Kuva 4.4. Traverssilaitteisto alumiiniprofiilien maalauksessa ja maalausammion seinämän rakenne

Kuvassa 4.4 oikealla puolella on esitetty ammion seinäminä olevien muovikelmujen toimintaperiaate. Kangasseiniä on kammiossa 4 kpl. Maaliruiskujen ollessa toiminnassa muovikelmut ovat paikallaan ja värvaihdon yhteydessä kangasseiniä liikutetaan alaspäin. Näin saadaan ohiruiskutettu jauhemaali kuljetettua kohti keräyspistettä, josta jauhemaali pumpataan edelleen jauhekeskukselle. Uusi puhdas muovikeltu rullataan ammion seinämille. Jauhekeskuksena käytetään samanlaista laitteistoa kuin pikavärvivaihtokammiossa. Alumiiniprofiilien maalausammio on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle sen korkean hankintakustannuksen vuoksi. Pystylinjojen uudelleentaltiointilaitteina käytetään tyypillisesti sykloneita, joissa on voimakkaan ilmavirran ja syklonin muotoilun avulla hoidettu syklonin puhdistaminen. Värvaihdon yhteydessä maaliruiskut ajetaan ammion alareunaan ja taivutetaan 90 astetta alaspäin. Ruiskut työnnetään maan alle säiliöön, jossa on ulkoinen paineilmapuhdistus jauhepistoleille ja imu letkuista tulevalle jauheelle. [14]

Kuvassa 4.5 on esitetty alumiiniprofiilien maalauksessa käytetyn maalausammion leikkauskuva. Taulukossa 4.1 on esitetty maalausammion komponentit: (1.) jauhemaa-laustraverssilaitteisto, (2.) ammion puhdistukseen käytetty liikkuvista muovikalvoista valmistettu seinämä, (3.) imukanava syklonille 1, (4.) Sykloni 1, (5.) Sykloni 2, (6.) Kanava syklonille 2, (7.) Imukanava syklonille 2, (8.) Hoitotaso, (9.) Imusuulake.



Kuva 4.5. Pystylinjan rakenne

Taulukko 4.1. Jauhemaalın ruiskutusprosessin komponentit kuvassa 3.11

- | |
|--------------------------|
| 1. Jauhemaalaustraverssi |
| 2. Liikkuva muoviseinä |
| 3. Kanava syklonille 1 |
| 4. Sykloni 1 |
| 5. Sykloni 2 |
| 6. Kanava syklonille 2 |
| 7. Hoitotaso |
| 8. Suulake |

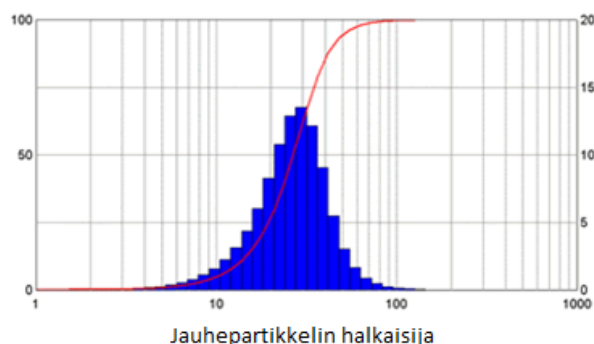
4.5. Ohiruiskutetun jauhemaalın kierrätys

Jauhemaalın uudelleentaltiointilaitteista patruunasuodattimista ja syklonista palautettuun ja kerättyyn jauhemaalıin liittyy tiettyjä ongelmia ja haasteita. Ohiruiskutetun jauhemaalın partikkelikoko on tuoreen jauhemaalın partikkelikokoa pienempää. Vastavasti pienemmillä jauhemaalın partikkelikoolle on huonommat varautumisominaisuudet. Kierrätetty jauhe seulotaan molemmissa kammioratkaisuissa ennen uudelleenkäyttöä, jotta siitä saadaan pois epäpuhtaudet. Seulonta voidaan toteuttaa esimerkiksi täry- tai paineilmaseulalla. Pikavärvinvaihtokammiossa jauhe seulotaan automaattisesti talteenoton yhteydessä ja palautetaan jauhesäiliöön syklonilta pneumaattisesti. Patruunasuodatinkammiossa jauhe seulotaan käsin tai täryseulalla. [6,7]

Syklonierotuksen yhteydessä kierrätetty jauhe hankautuu syklonin seinämiin, jolloin sen partikkelikoko muuttuu. Syklonierotus myös poistaa osan kierrätyksen aikana syntyvästä pienistä jauhehiukkasista. Kokojakauma pienenee ja jauhemaalıin tulee mukaan suuri määrä hienojakoista ja karkeaa jauhetta. Tämä hienojakoinen jauhe, partikkelit kokojakaumaltaan noin alle 10 µm, ovat hyödytöntä maalauksen kannalta, koska ne eivät kunnolla varaudu, eivätkä tartu maalattavaan kappaleeseen kiinni. Tämän takia on suositeltavaa, että kierrätettyyn jauhemaalıin sekoitettaisi tuoretta jauhemaalıa, jolloin jauheen varausominaisuuksia saataisiin parannettua. Jauhemaalıa ei kuitenkaan voi loputtomasti kierrättää, koska sen varautumisominaisuudet heikkenevät merkittävästi. Kierrätettyä jauhemaalıa tulee myös harkiten käyttää kappaleen loppusijoituspaikan ja visuaalisten vaatimusten ehdoilla.

Tätä ongelmaa ei ole vastaavasti patruunasuodatinkammiossa, koska siinä jauhemaalı ei kierrä syklonin kautta. Patruunasuodatinkammiossa palautetun jauhemaalın ongelmana on syklonierotuskammion tapaan hienojakoisen jauhemaalın muodostuminen, jolla on huonommat varausominaisuudet. [7]

Jauhe on muovijauhetta, jonka partikkelien varausominaisuudet kokojakauman funktiona on esitetty kuvassa 4.6. Jauheen kokojakauma on kriittinen ja vaikuttaa maalikerroksen paksuuteen ja pinnan tasaisuuteen. Optimaalinen jauhehiukkasen koko suhteessa varautumisominaisuuksiin on noin 50µm. [4,7]



Kuva 4.6. Jauhepartikkelin kokojakauma

4.6. Kierrätetyn jauhemaalien roskaongelma

Kierrätetyllä jauhemaalilla tarkoitetaan ohiruiskutettua jauhemaalaa, joka on kerätty käsin tai automatiikan avulla pikavärvinvaihtokammion tai patruunasuodatinkammion seiniltä ja lattialta. Patruunasuodatinkammiossa taas ohiruiskutettu jauhemaalili on kerätävä kammion lattialta esimerkiksi lastalla. Molemmissa tapauksissa käytetään puhaltimia, jotka imevät ohiruiskutetun jauhemaalili lisäksi myös tehdastilan ilmassa leijailevaa likaa, pölyä ja kosteutta. Tästä syystä talteen otettu jauhemaalili pitää seuloa ennen sen uudelleenkäyttöä. Seula voi olla esimerkiksi sähkö tai paineilmakäyttöinen täryseula, joka seuloa pois sellaiset suuret epäpuhtaudet, jotka näkyisivät valmiissa jauhepinnassa. [7]

Tämän takia hyvän maalipinnan aikaansaamiseksi on ensiarvoisen tärkeää miettiä jauhemaalilaamon sijoittamista tilaan, jossa ei tehdä muuta mekaanista työtä. Muussa tapauksessa hallitilan pöly voi pahimmassa tapauksessa estää kokonaan jauheen kierrättämisen ja uudelleenkäytön. Kierrätetyn jauheen hyväksikäytön voi esimerkiksi kesällä estää ulko-ovien pitäminen auki, joka johdosta jauhepartikkelien seassa on siitepölyä.

4.7. Värvinvaihdon optimointi

Pikavärvinvaihtokammiossa ohiruiskutuksen määrää kontrolloidaan valoverhon avulla. Valoverholla tarkoitetaan maalausammion edessä olevia pystysuuntaisia antureita, joiden avulla maalattava kappale mitataan ja sen nopeus lasketaan suhteessa ratanopeuteen. Ratanopeuden avulla myös lasketaan ruiskutuksen aloitusajankohta, jolloin pistoolit käynnistetään. Valoverhojen avulla voidaan minimoida ohiruiskutus maalausammiossa, sekä sulkea ja avata pistooleja tarvittaessa, jotka muuten ruiskuttaisivat jauhetta ohi kappaleesta. Tällainen tilanne tulee eteen esimerkiksi pitkän palkin tapauksessa. [15]

4.8. Jätejauhe, sen hävittäminen tai uudelleenkäyttö

Jauhemaalausta pidetään ympäristöystävällisenä maalausmuotona, koska se ei vapauta ilmakehään haitallisia VOC- päästöjä. Yksi suurimmista jauhemaalaukseen liittyvistä ongelmista liittyy jätejauheen syntymiseen, hävittämiseen ja uudelleenkäyttöön. Jätejauheongelmaa ei maalaamossa ole, jos käytössä on pelkästään yksi maalattava värisävy. Yksi suurimmista jauhemaalaukseen liittyvistä haasteista on löytää käyttökohteita maalausammion seiniltä ja lattialta kerätylle jätejauheelle. [1,3]

Jätejauheella tarkoitetaan maalausammion lattialta, syklonista, kanavista ja jälkisuodattimesta tai patruunasuodatinkammioista kerättyä ohiruiskutettua jauhemaalaa, johon on sekoittunut eri jauhepartikkelin värihiukkasia. Eri värisävyjen jauhepartikkelit ovat sekoittuneet toisiinsa, koska värinvaihdon yhteydessä ohiruiskutettua jauhemaalaa ei ole kerätty talteen. Jätejauheen syntyminen on ongelmallista, sillä sen käsittelemiseen kuluu aikaa ja hävittämiseen rahaa. Jätejauhetta syntyy sekä pikavärinvaihtokammioissa että patruunasuodatinkammiossa ja sen määrään ohiruiskutus ja siirtohyötysuhde. [13]

Jätejauhejätteen määrä on viime vuosina kasvanut, sillä yritykset ovat lisänneet tuotteidensa värivalikoimaa lisämyynnin toivossa. Suuren värivalikoiman yhteydessä maalattavat erät ovat pieniä, eikä värinvaihto vanhan jauhemaalain taltioimalla ole järkevää tai kannattavaa. Nykyään myös eri värisävyistä jauhemaalaa on saatavana pieninä erinä. Suurinta jätejauheen syntyminen on alihankinta- ja rahtimaalaamoissa, jossa käytettäviä värisävyjä ei ole standardisoitu. Jauhemaalijäte voidaan hävittää esimerkiksi keräämällä se tynnyreihin tai pahvilaatikoihin joko jauheen muodossa tai sulattamalla se polttouunissa kiinteäksi paketiiksi. Jauhemaalaa pakataan tiiviisti tai sulatetaan, jotta se ei pölyäisi kaatopaikalla. Yleensä jauhemaalijäte kuuluu sekajätteeseen, mutta esimerkiksi epoksi-polyesterijauhemaalaa TGIG- kovetteella kuuluu ongelmajätteisiin. [6,13]

Yksi jätejauhemaalain kierrätystapa on sekoittaa käytetty eri värisävyistä koostuva jätejauhemaalaa tuoreeseen mustan värisävyyn omaavaan jauhemaalain. Tällöin saadaan aikaan neutraali värisävy, jota voidaan käyttää kappaleiden maalauksessa, joilla ei ole kosmeettisia vaatimuksia. Jauhemaalaa sekoitettaessa mahdollisia ongelmia aiheutuu jauhemaalain eri hartsilajien sekoittamisesta. Toinen mahdollinen jätejauhemaalain käyttökohde on betonirakenteiden vahvikkeena. Muotoon sulatettu jauhemaalaa upotetaan sementtirakenteisiin valun aikana. Tutkimuksen mukaan 68 % jauhemaalijätteestä päätyi kaatopaikalle. Jätejauhemaalain uudelleenkäytön kustannuksia pidetään vielä liian suurina. Vertailtaessa jauhekammioita, tulee ottaa huomioon jätejauheen hävittämisestä aiheutuvat kustannukset. Jätejauheen kerääminen ja hävittämisen kustannuksia on arvioitu tässä diplomityössä ja määritetty esimerkkilaskuissa jauhemaalijätteen hinnaksi 3€/kg. [5,13]

5 MAALAAMON KUSTANNUS- JA INVESTOINTILASKENTA

Väriinvaihdon kannattavuutta vertaillaan molempien kammioiden osalta investointikustannusten ja käyttökustannusten perusteella. Investoinnin kannattavuutta tulee arvioida yleensä vähintään kahdella menetelmällä. Tarkastelussa käytetään nykyarvomenetelmää ja annuiteettimenetelmää. Investointilaskuissa pyritään löytämään vaadittava vuosittainen tuottovaatimus, jolla investointi on kannattava. Käytön aikaisia kustannuksia vertaillaan kiinteiden- ja muuttuvien kustannusten avulla. [10]

Investointilaskelmissa otetaan huomioon investoinnin hankintameno, käyttökustannukset ja arvio pitoajasta. Investoinnin huolellinen suunnittelu on erittäin tärkeä, sillä investointipäätös on kertaluontoinen ja yrityksen liiketoimintaolosuhteet voivat muuttua nopeasti. Osa päätöksentekoon vaikuttavista valintakriteereistä on henkilön kokemukseen pohjautuvia arvostus- ja näkemyskysymyksiä. Investoinnit voidaan luokitella eri ryhmiin ja asettaa niille tuottovaatimus ja tavoite, mitä investoinnilla halutaan saavuttaa. Alla olevassa taulukossa on esitetty tavoitteita, joihin investoinnin avulla pyritään pääsemään. [10] Taulukossa 5.1 on esitetty esimerkkejä tavoitteista, joita investoinnilla haetaan.

Taulukko 5.1 Investoinnin tavoitteet

<p>Investointi patruunasuodatinkammioon:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tavoitteena on tarjota asiakkaalle lisäarvona pintakäsittelypalveluita muun valmistuksen lisäksi. - Pintakäsittelypalveluiden avulla pyritään saamaan lisämyyntiä päätuotannossa - Pieni sijoitettu pääoma 	<p>Investointi pikaväriinvaihtokammioon:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tavoitteena on tarjota asiakkaille laadukasta ja joustavaa maalauspalvelua. - Pikaväriinvaihtokammion avulla saadaan parannettua kilpailuasemaa suurissa maalattavissa tuotantoerissä ohiruiskutetun jauheen kierrättämisellä. - Uskomus tekniikan kehitykseen - Tuottojen lisääminen - Kustannusten alentaminen investoinnin avulla
---	---

Investointilaskelma on koko investoinnin pitoajalle ulottuva laskelma, jolla pyritään selvittämään investoinnin järkevyys ja kannattavuus. Laskelmia tehdessä joudutaan kiinnittämään huomiota toteutuskustannuksiin, saataviin tuottoihin ja rahoitusvaihtoehtoihin. Investoinnin pitoajalla tarkoitetaan taloudellista käyttöaikaa, joka investointi-hyödykkeellä on yritykselle. Pitoajalla tarkoitetaan tässä maalausammioiden fyysistä ikää, jonka maalausammio on käyttökelpoinen. [10]

5.1. Nykyarvomenetelmä

Maalausammioiden vertailussa käytetään investointien kannattavuuden tarkasteluun nykyarvomenetelmää, jossa investoinnin tulot ja menot diskontataan tietyllä laskentakorkokannalla, jolloin saadaan selville niiden nykyarvo. Nykyarvon perusteella saadaan yhteenlaskettu tulos, joka kertoo nykyarvossa mitattuna vuosittaisen tuottovaatimuksen. Laskuissa huomioon otettavia eriä ovat: perusinvestointi, investoinnin jäännösarvo pitoajan jälkeen, kulut ja menot pitoajalta. Nykyarvosummaa verrataan investoinnin hankintamenoon, kannattavassa investoinnin nykyarvosumma on suurempi kuin investoinnin hankintameno. Nykyarvomenetelmän huonoja puolia on tuottojen vaikea arviointi. Alla on esitetty nykyarvomenetelmään perustuvan diskonttaustekijän laskukaava. Laskentakorkokannaksi oletetaan 8%. Pitoaika molemmille maalausammioille on 15 vuotta. Jäännösarvoa kummallakaan maalausammioilla ei oleteta olevan. Taulukoissa 5.3 ja 5.4 selvitetään diskonttaustekijän avulla, millä vuosittaisilla nettotuloilla investointi on kannattavuuden rajamailla. Liitteessä 2 ja 3 on esitetty koko maalaamon hankkimisesta koituvat investointilaskelmat nykyarvomenetelmällä pikavärvaihtokammioilla ja patruunasuodatinkammioilla varustetussa maalaamossa. Taulukossa 5.2 on esitetty ammioiden hankintahinnat. [10]

$$\text{Diskonttaustekijä} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Taulukko 5.2 Ammioiden hankintahinnat

Pikavärvaihtokammio PVC Hankintahinta: 220 000€ Laskentakorkokanta: 8% Pitoaika: 15 vuotta Jäännösarvo 0 €
--

Sekavärikammio RST Hankintahinta: 150 000€ Laskentakorkokanta: 8% Pitoaika: 15 vuotta Jäännösarvo 0 €

Taulukko 5.3 Pikavärintvaihtokammion investointilaskelma

Vuosi	Investointi	Nettotulot	Diskonttaustekijä	Nettotulon nykyarvo
0	-220 000			
1		25700	0,926	23798,2
2		25700	0,857	22024,9
3		25700	0,794	20405,8
4		25700	0,7351	18892,07
5		25700	0,682	17527,4
6		25700	0,63	16191
7		25700	0,5834	14993,38
8		25700	0,54	13878
9		25700	0,5	12850
10		25700	0,4632	11904,24
11		25700	0,4289	11022,73
12		25700	0,3971	10205,47
13		25700	0,3677	9449,89
14		25700	0,3447	8858,79
15		25700	0,3152	8100,64
Nettonykyarvo				220102,51

Taulukko 5.4 patruunasuodatinkammion investointilaskelma

Vuosi	Investointi	Nettotulot	Diskonttaustekijä	Nettotulon nykyarvo
0	-150 000			
1		17520	0,926	16223,52
2		17520	0,857	15014,64
3		17520	0,794	13910,88
4		17520	0,7351	12878,952
5		17520	0,682	11948,64
6		17520	0,63	11037,6
7		17520	0,5834	10221,168
8		17520	0,54	9460,8
9		17520	0,5	8760
10		17520	0,4632	8115,264
11		17520	0,4289	7514,328
12		17520	0,3971	6957,192
13		17520	0,3677	6442,104
14		17520	0,3447	6039,144
15		17520	0,3152	5522,304
Nettonykyarvo				150046,536

5.2. Annuiteettimenetelmä

Toinen tutkimuksessa käytetty menetelmä investoinnin kannattavuuden arviointiin on annuiteettimenetelmä. Annuiteettimenetelmässä nykyhankintameno jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi eli annuiteeteiksi. Vuosierä sisältää poiston, että annetun vuosikoron yhteenlaskettuna. Kaavassa 2 on esitetty annuiteetikertoimen laskentakaava. [10]

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} = \text{Annuiteettikerroin} \quad (2)$$

$i = \text{Laskentakorkokanta}$

$n = \text{Aikajakso vuosissa}$

Laskentakaavassa 3 on laskettu annuiteettikerroin viidentoista vuoden pitoajalla. Pitoaika on molemmille vertailtaville kammioille sama.

$$\frac{0.08(1+0.08)^{15}}{(1+0.08)^{15}-1} = 0,116829 \quad (3)$$

Pikaväriinvaihtokammion vuosikustannukset annuiteettimenetelmällä on esitetty kaavassa 4. Patruunasuodatinkammion vuosikustannukset on esitetty kaavassa 5. Vuosikustannukset ovat minimikustannuksia, jolla investointi pysyy vielä kannattavana annetulla laskentakorkokannalla. Annuiteettimenetelmällä on saatu samat vaaditut vuosittaiset kustannukset kuin nykyarvomenetelmällä, jolla investointi on kannattavuuden rajamaila.

$$220\,000 \text{ €} * 0.1168 = 25\,702 \text{ €/vuosi} \quad (4)$$

$$150\,000 \text{ €} * 0.1168 = 17\,524 \text{ €/vuosi} \quad (5)$$

5.3. Kustannuslaskenta

Kustannuslaskennan tehtävänä on tukea yrityksen johdon ja yrityksen kaikkien prosessien päätöksentekomenetelmää. Kustannuslaskentaa tarvitaan suoritekohtaisten kustannusten selvittämiseen. Paljonko kunkin palvelun suorittaminen aiheuttaa kustannuksia. Kustannuslaskentaan kuuluu käyttöä edeltävät investointikustannukset ja käytön aikaiset kiinteät sekä muuttuvat kustannukset. [11]

5.4. Kiinteät kustannukset

Maalaamon kiinteisiin kustannuksiin kuuluvat pääoman poistot ja maksettavat korot. Muut kiinteät kustannukset muodostuvat käyttöhenkilökunnan palkoista, vuosihuolloista ja vakuutuksista. Kiinteisiin kustannuksiin kuuluvat esimerkiksi vuokrat, kone- ja kalustohankinnat, lämmityskustannukset, vakuutukset, sähkö, huolto- ja kunnossapitokustannukset. [11]

5.5. Muuttuvat kustannukset

Muuttuvat kustannukset ovat niitä kuluja, jotka riippuvat selkeästi asiakasmäärästä. Syntyvät maalaamon käytöstä. Ovat verrannollisia käytön määrään. [11] Energiakustannukset ja maalikustannukset ovat suurin muuttuvien kustannuksien menoerä maalaamossa. Muuttuvia kustannuksia maalaamossa ovat esimerkiksi maalit ja tarvikkeet, henkilöstökulut ja palkat, jätejauheen hävittämisen kustannukset, patruunasuodattimet. [11]

6 MITTAUKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI

Mittauksissa vertaillaan kahden tutkittavan jauhemaalauuskammion kustannuksia. Vertailtavat kammiot ovat pikavärvinvaihtokammio ja patruunasuodatinkammio. Kustannukset on jaettu kiinteisiin - ja muuttuviin kustannuksiin. Laskelmissa tutkitaan myös herkkyysanalyysin avulla yksikkökustannusten muuttumisen vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Nykyään jauhemaalauksessa kustannuksia pyritään pitämään pienenä investoimalla laitteisiin, joissa on pieni ohiruiskutus ja suuri siirtohyötysuhde. Työvoimakustannuksia pyritään saamaan pieneksi suunnittelemalla automaattisia laitoksia. Maalaamon tuottavuutta ja kapasiteettia pyritään nostamaan kuljettimen täyttöasteen ja ripustustekniikan avulla.

Oletetaan jauhemaalaaamon toimivan kahdessa vuorossa, 2x 8 tuntia päivässä. Jauhemaalaaamossa on kaksi työntekijää, jotka pyörittävät koko maalaamo. Jauhemaalaaamo on ostettu velkarahalla. Jauhemaalaaamon hinta pikavärvinvaihtokammioilla on 450 000€ ja patruunasuodatinkammioilla varustetun jauhemaalaaamon hinta taas 380 000€. Jauhemaalaaamo on rakennettu vuokratiloihin, jonka vuokratkustannukset kuukaudessa on 1500€. 1000 grammaa jauhemaalaaia riittää 8 neliömetrin maalaamiseen. Ratanopeus maalaamon kuljetinradassa on 0,8m/min. Oletetaan molemmissa tapauksissa jauheenruiskutuslaitteiden olevan samanlaiset, jolloin jauhepistoolit ruiskuttavat jauhemaalaaia tunnin aikana kokonaisuudessaan 28,8kg.

Jauhemaalaukselle välttämättömien sivuprosessien, kuten esikäsitteilykammion, kuivausuunin ja polttouunin sähkönkulutus on oletettu molemmissa vertailtavissa tilanteissa samaksi. Alla on esitetty jauhemaalaukselle välttämättömien sivuprosessien moottoreiden, pumppujen ja lämmittimien sähkötehot, jotka otetaan huomioon kustannusten vertailussa värvinvaihdon aikana.

Esikäsitteilykammio 4-vaiheinen:	15 kW
Vedenkuivausuuni:	25 kW
Jauheenpolttouuni:	$2 \times 36 \text{ kW}$
Kattoratakuljetin:	1 kW
Sähkön hinta:	$0,09 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$
Patruunasuodatinkammion sähköteho	6 kW
Tilojen vuokrat:	$1500 \frac{\text{€}}{\text{kk}} = 50 \frac{\text{€}}{\text{päivä}}$
Jauhemaalikilon hinta:	7,3 €/Kg Interpon D1036
Työvoimakustannukset:	$100 \frac{\text{€}}{2 \text{ henkilöä}}$
Jätejauheen hävittämisen kustannukset	$3 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$

$$\begin{aligned}
 &\text{Jauhemaalatus teräslevystä saadaan myyntikatetta } 10 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \\
 &\text{Menetetty tuotanto:} \quad 100 \text{ m}^2 \text{ maalattua pintaa} \\
 &\quad 20 \frac{\text{€}}{\text{km}^2} = 2000 \frac{\text{€}}{\text{h}} \\
 &\text{Jauhemaalain ruiskutus:} \quad 0,48 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 28,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}
 \end{aligned}$$

Annuiteettimenetelmällä lasketut investointikustannukset on esitetty pikavärikammiolla ja patruunasuodatinkammiolla varustetussa jauhemaalaamossa. Annuiteettikerroin on laskettu 5,2 aliluvun kaavalla (3). Pikavärinvaihtokammiolla varustetun maalaamon investoinnin vuosikustannukset on esitetty kohdassa (6) ja patruunasuodatinkammiolla varustetun maalaamon vuosikustannukset kohdassa (7). Pelkkien maalausammioiden vuosittaiset kustannukset on esitetty kaavoissa (8) ja (9).

$$450\,000\text{€} \times 0,1168 = 52\,560 \frac{\text{€}}{\text{Vuosi}} \quad (6)$$

$$380\,000\text{€} \times 0,1168 = 44\,384 \frac{\text{€}}{\text{Vuosi}} \quad (7)$$

$$220\,000\text{€} \times 0,1168 = 25\,696 \frac{\text{€}}{\text{Vuosi}} \quad (\text{Pikaväri vaihtokammio}) \quad (8)$$

$$150\,000\text{€} \times 0,1168 = 17\,520 \frac{\text{€}}{\text{Vuosi}} \quad (\text{Patruunasuodatinkammio}) \quad (9)$$

Seuraavaksi on tarkasteltu jauhemaalaamon käytöstä aiheutuvia muuttuvia kustannuksia, joiden perusteella arvioidaan värinvaihdon kannattavuutta. Muuttuvista kustannuksista ensimmäisenä on esitetty maalaamon oheislaitteiden moottorien ja puhaltimien käytöstä aiheutuva sähkön hinnan kustannukset molemmissa vertailtavissa kammiossa. Patruunasuodatinkammion käyttökustannukset sähkötehon osalta on esitetty kohdassa (10) ja pikavärinvaihtokammion tapauksessa kohdassa (11). Käyttökustannusten ero johtuu pikavärinvaihtokammion talteenottolaitteiden puhaltimien sähkötehosta. Kohdassa (12) on esitetty jauhemaalauslaitteiden ruiskuttaman jauhemaalain hinta tunnissa, kun jauhemaalaa ruiskutetaan $0,48 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 28,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$. Lisäksi lukuissa muuttuviin kustannuksiin on luettu jätejauheen hävittämisestä koituneet kustannukset $3 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$.

$$(15 \text{ kW} + 25 \text{ kW} + 72 \text{ kW} + 6 \text{ kW}) \times 0,09 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 7,08 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (10)$$

$$(15 \text{ kW} + 25 \text{ kW} + 72 \text{ kW} + 30 \text{ kW}) \times 0,09 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 12,78 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (11)$$

$$0,48 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 28,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 28,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 7,3 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 210 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad (12)$$

Lisäksi jauhemaalaamon käytön kiinteisiin kustannuksiin lasketaan tilojen vuokrakustannukset, maalareiden työvoimakustannukset ja menetetyistä tuotannosta aiheutuvat

kustannukset. Menetetystä tuotannosta aiheutuvat kustannukset on arvioitu jauhemaalausta teräslevystä saatavan tuoton perusteella 100 m^2 maalattua pintaa $2000 \frac{\text{€}}{h}$.

Seuraavaksi on esitetty jauhekammion valmistajan ITW- Gema AG:n ilmoittama aika, jonka on laskettu olevan riittävä jauhekammioiden siivoamiseen.

Siivousajat on esitetty pikaväriin vaihtokammion osalta kohdassa (13) ja patruunasuodatinkammion tapauksessa (14). Ohiruiskutusprosentti molempien vertailtavien kammioiden tapauksessa on esitetty kohdassa (15).

Väriin vaihdon kesto pikavärikammiolla: 15 min (13)

Väriin vaihdon kesto patruunasuodatinkammiolla: 120 min (14)

Ohiruiskutusprosentti: 50% (15)

Edellä esitettyjen väriin vaihtoon kuluien aikojen sekä muuttuvien – ja kiinteiden kustannusten perusteella on laskettu kustannukset jauhemaalaamon seisottamiselle tunnin aikana. Kohdassa (16) on esitetty pikaväriin vaihtokammion seisottamisen kustannukset tunnissa ja kohdassa (17) patruunasuodatinkammion seisottamisen kustannukset. Lisäksi tarkasteluun on otettu annuiteettimenetelmällä lasketut maalaamoiden vuosittaiset investointikustannukset.

$$\frac{7,08\text{€}}{h} + \frac{50\text{€}}{16h} + \frac{100\text{€}}{h} + \frac{2000\text{€}}{h} + \frac{52560\text{€}}{200d*16h} = 2126 \frac{\text{€}}{h} \quad (16)$$

$$\frac{12,78\text{€}}{h} + \frac{50\text{€}}{16h} + \frac{100\text{€}}{h} + \frac{2000\text{€}}{h} + \frac{44384 \text{ €}}{200d*16h} = 2175 \frac{\text{€}}{h} \quad (17)$$

Väriin vaihdon kesto pikaväriin vaihtokammiossa on 15 minuuttia, joten kustannukset väriin vaihdon ajalta on esitetty kohdassa (18). Patruunasuodatinkammiossa väriin vaihdon kesto on 120 minuuttia, joten kustannukset väriin vaihdon ajalta on esitetty kaavassa (19). Tämä on tuotantokatkoksen hinnallinen vaikutus, jonka perusteella väriin vaihdon kannattavuutta arvioidaan.

$$\frac{2110\text{€}}{h} \times \frac{1}{60 \text{ min}} \times 15 \text{ min} = 529\text{€} \quad (18)$$

$$2h \times 2162 \frac{\text{€}}{h} = 4324 \text{ €} \quad (19)$$

Väriin vaihto keräämällä ohiruiskutettu jauhemaali on kannattavaa vain, jos maalausammion lattialta kerätyn ohiruiskutetun jauhemaalien arvo on suurempi kuin tuotannon seisottamisesta ja menetetystä työvoimasta muodostuneet kustannukset. Ohiruiskutuksen ollessa 50% ja jauhemaalikilon hinta 7,3 € on pikaväriin vaihtokammiossa ruiskutetun tuoreen jauhemaalien määrä esitetty kohdassa (20), jotta väriin vaihto taltioimalla ohiruiskutettu jauhemaali on kannattavaa. Patruunasuodatinkammiossa ruiskutetun jauhemaalien määrä on esitetty kohdassa (21).

Alla on esitetty jauhemaalien ruiskutusmäärät perustuen kohdassa (18) ja (19) esitettyihin värienvaihdon aikana syntyviin kustannuksiin. Pikavärienvaihtokammion tapauksessa tuoreen jauhemaalien ruiskutusmäärän on ylitettävä kohdassa (20) esitetty määrä. Tämän jauhemäärän ruiskuttaminen yhtäjaksoisesti jauhepistoolien tuotolla $\frac{1}{0,48 \frac{kg}{min}}$ kestää noin viisi tuntia. Patruunasuodatinkammion tapauksessa tuoreen jauheen ruiskutusmäärän on oltava suurempi kuin 1158kg. Tämä jauhemäärä on keräämisen arvoista noin 40 tunnin kuluttua.

$$529 \text{ €} \times \frac{1}{7,3 \frac{\text{€}}{kg}} \times \frac{1}{0,5} = 144,92 \text{ kg} \quad (20)$$

$$4229 \text{ €} \times \frac{1}{7,3 \frac{\text{€}}{kg}} \times \frac{1}{0,5} = 1158 \text{ kg} \quad (21)$$

$$144,92 \text{ kg} \times \frac{1}{0,48 \frac{kg}{min}} = 301 \text{ min} \approx 5 \text{ h} \quad (22)$$

$$1158 \text{ kg} \times \frac{1}{0,48 \frac{kg}{min}} = 2391 \text{ min} \approx 40 \text{ h} \quad (23)$$

Jotta linjan seisottamisesta koituvat kustannukset peittyisivät ja värienvaihto ohiruiskutettu jauhemaali taltioimalla olisi kannattavaa, on maalauksen prosessin jatkettava pikavärienvaihtokammion tapauksessa yhtäjaksoisesti vähintään 5h ja patruunasuodatinkammion tapauksessa vähintään 40 tuntia. Jos ohiruiskutettua jauhemaalia ei ole tarkoitus kerätä talteen eli jauhemaalia ruiskutetaan jätteeksi, on jauheletkujen puhdistamiseen kuluva aika valmistajan mukaan noin 20s. Tämä kustannus on sama molemmissa kammioiden tapauksissa ja on esitetty kohdassa (24). Lisäksi joudutaan tarkastelemaan jätejauheen hävittämisestä aiheutuvia kustannuksia, jotka ovat $3 \frac{\text{€}}{kg}$.

$$\frac{2162 \text{ €}}{3600 \text{ s}} \times 20 \text{ s} + 28,8 \frac{kg}{h \times 3600} \times 20 \times 3 \frac{\text{€}}{kg} = 12,18 \text{ €} \quad (24)$$

Tuloksista voidaan päätellä, että värienvaihto on yhtä kannattamatonta molemmissa kammioiden tapauksissa kun maalattavat kappale-erät ovat pieniä. Tällöin värienvaihtojen yhteydessä kannattaa vain puhdistaa jauheletkut ja pitää vanhaa ohiruiskutettua jauhetta jätejauheena. Jätejauheen keräämisestä ja hävittämisestä aiheutuu noin 3€/kg kustannuksia, mutta kustannukset ovat pienempiä kuin menetetyistä tuotteista ja linjan seisottamisesta aiheutuvat kustannukset.

Pikavärienvaihtokammiossa vanha, ohiruiskutettu jauhemaali tulee keräämisen arvoiseksi noin viiden tunnin jälkeen, jolloin kammion pohjalla oleva maalijauhe on arvokkaampaa kuin sen siivoamiseen kuluva aika. Patruunasuodatinkammiossa tämä aika on noin 40 tuntia. Tämän ajan kuluttua tulee arvioida vanhan jauhemaalien keräämisen kannattavuutta.

Värienvaihdon yhteydessä on kuitenkin kiinnitettävä vain suuntaa-antavaa huomiota kyseisiin aika-arvoihin ja arvioitava kierrätetyn jauhemaalien käyttöä myöhemmin

maalattavien tuotteiden kannalta. Kierrätetyn jauhemaalalin käytön yhteydessä pitää arvioida kappaleen loppusijoituspaikkaa. Jos maalipinnan laadun on oltava virheetön, on suositeltavaa käyttää maalausprosessissa tuoretta jauhemaalaa. Huonosti tehty kammion siivous voi pilata koko seuraavan maalattavan erän, jos talteenottolaitteisiin on jäänyt toisen jauhepigmentin värihiukkasia. Lisäksi pitää kiinnittää erityistä huomiota talteen otettuun jauhemaalisiin ja siihen, minkä värisävyyn hiukkasia kammiossa oli ennen värinvaihtoa käytössä. Jos maalaamossa käytetään vain tiettyjä, esimerkiksi vaaleita värisävyjä se vähentää värinvaihdon mahdollista epäonnistumista.

6.1. Herkkyysanalyysi

Edellisestä kappaleesta huomataan, että merkittävimmät kustannukset syntyvät menetetyt tuotannon lisäksi maalaamoä käyttävästä työvoimasta, sekä energiakustannuksista. Nykyarvomenetelmän sekä annuiteettimenetelmän avulla on selvitetty investoinnin vuosittaisten tuottojen minimitaso, jolla investointi pysy kannattavana. Aikaisemmassa kappaleessa on oletettu maalaamon käyttöiän olevan 15 vuotta. Selvitetään käyttöiän pienenemisen vaikutus vuosittaisiin kustannuksiin kahdella vuodella esimerkiksi taantumän johdosta. Lasketaan annuiteettikerroin 5.2 aliluvun kaavalla (2), kun pitoaika on 13 vuotta. Annuiteettikerroin on esitetty laskentakorkokannalla 8%.

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} = \text{Annuiteettikerroin} \quad (2)$$

i = Laskentakorkokanta

n = Aikajakso vuosissa

$$\frac{0.08(1+0.08)^{13}}{(1+0.08)^{13}-1} = 0,1265 \quad (25)$$

Pikavärinvaihtokammion vuosikustannukset annuiteettimenetelmällä pitoajan ollessa 13 vuotta on esitetty kaavassa (26). Patruunasuodatinkammion vuosikustannukset on esitetty kaavassa (27). Investointikustannukset nousevan pikavärinvaihtokammion tapauksessa 2 134€:lla ja patruunasuodatinkammion tapauksessa 1455€:lla, jos investoinnin pitoaika lyhenee kahdella vuodella.

$$220\,000\text{ €} \times 0.1265 = 27\,830\text{ €/vuosi} \quad (26)$$

$$150\,000\text{ €} \times 0.1265 = 18\,975\text{ €/vuosi} \quad (27)$$

Pikavärinvaihtokammion tapauksessa värinvaihto tulee kannattavammaksi, jos siirrytään kalliimpiin metallinhoitojauheisiin. Toinen asia, miten värinvaihdon kannattavuutta saadaan parannettua, on siirtymällä asteittain jauheesta toiseen, asteittain vaa-

leista sävyistä tummempiin. Tämä ei aina ole mahdollista, mutta, jos kammio pystytään siivoamaan kymmenessä minuutissa ja patruunasuodatinkammio 80:ssä minuutissa.

Kaavassa (28) on esitetty värinvaihdon kustannukset pikavärinvaihtokammion siivousajan lyhetyssä 10 minuuttiin. Kaavassa (29) on esitetty ohiruiskutetun jauhemaalalin arvo pikavärinvaihtokammion tapauksessa ja kaavassa (30) patruunasuodatinkammion tapauksessa (31).

$$\frac{2114\text{€}}{h} \times \frac{1}{60 \text{ min}} \times 10 \text{ min} = 353\text{€} \quad (28)$$

$$\frac{2114\text{€}}{h} \times \frac{1}{60 \text{ min}} \times 80 \text{ min} = 2819\text{€} \quad (29)$$

$$\frac{353\text{€}}{\frac{7,3\text{€}}{\text{kg}}} \times \frac{1}{0,5} \times \frac{1 \text{ min}}{0,48 \text{ kg}} = 201 \text{ min} \approx 3 \text{ h } 21 \text{ min} \quad (30)$$

$$\frac{2819\text{€}}{\frac{7,3\text{€}}{\text{kg}}} \times \frac{1}{0,5} \times \frac{1 \text{ min}}{0,48 \text{ kg}} = 1609 \text{ min} \approx 26 \text{ h } 50 \text{ min} \quad (31)$$

Jos maalaamoon olisi palkattava kolmas työntekijä. Sen vaikutus värinvaihdon kannattavuuteen on esitetty kaavassa (32). Ruiskutusprosessin aika on esitetty kaavassa (33). Tästä nähdään, että työvoimakustannusten lisäämisellä ei ole merkittävää vaikutusta värinvaihdon kannattavuuteen, jos tuotantoa pystytään jatkuvasti ajamaan.

$$\frac{11,43\text{€}}{h} + \frac{50\text{€}}{16 \text{ h}} + \frac{150\text{€}}{h} + \frac{2000\text{€}}{h} = 2164 \frac{\text{€}}{h} \quad (32)$$

$$\frac{353\text{€}}{\frac{7,3\text{€}}{\text{kg}}} \times \frac{1}{0,5} \times \frac{1 \text{ min}}{0,48 \text{ kg h}} = 309 \text{ min} = 5 \text{ h } 09 \text{ min} \quad (33)$$

Hintaero maalauskammioilla on 70 000 €. Ohiruiskutun jauheen keräämiseen kuluva aika on esitettykohdassa (34). Maalaamoiden hintaero pystytään peittämään, jos

$$\frac{70000\text{€}}{\frac{7,3\text{€}}{\text{kg}}} \times \frac{1}{0,5} \times \frac{1}{0,48 \frac{\text{kg}}{\text{min}}} = 39954 \text{ min} = 665 \text{ h} \approx 41 \text{ päivää} \quad (34)$$

Menetetyn tuotannon vaikutus värinvaihdon kannattavuuteen on suurin tarkastelussa olevista kustannuksista. Jos menetetystä tuotannosta saadaan vain 50% oletetusta tuotosta eli $1000 \frac{\text{€}}{\text{h}}$. On sen vaikutus värinvaihtoon tarkastelussa olevien pikavärinvaihtokammion tapauksessa esitetty kohdassa (35) ja patruunasuodatinkammion tapauksessa kohdassa (36).

$$\frac{7,08\text{€}}{h} + \frac{50\text{€}}{16 \text{ h}} + \frac{100\text{€}}{h} + \frac{1000\text{€}}{h} + \frac{52560\text{€}}{200 \text{ d} * 16 \text{ h}} = 1126 \frac{\text{€}}{h} \quad (35)$$

$$\frac{12,78\text{€}}{h} + \frac{50\text{€}}{16h} + \frac{100\text{€}}{h} + \frac{1000\text{€}}{h} + \frac{44384\text{€}}{200d \cdot 16h} = 1175 \frac{\text{€}}{h} \quad (36)$$

Tämä tarkoittaa edelleen väriinvaihdon kustannusten olevan väriinvaihdon ajalta esitetty pikaväriinvaihtokammion tapauksessa kohdassa (37) ja patruunasuodatinkammion tapauksessa kohdassa (38).

$$\frac{1110\text{€}}{h} \times \frac{1}{60 \text{ min}} \times 15 \text{ min} = 277,5\text{€} \quad (37)$$

$$2h \times 1175 \frac{\text{€}}{h} = 2350 \text{€} \quad (38)$$

Jauhemaalimäärän ruiskuttamismäärät on esitetty pikaväriinvaihtokammion tapauksessa kohdassa (39) ja patruunasuodatinkammion tapauksessa kohdassa (40). Näillä ruiskutusmäärillä väriinvaihto on kannattavaa pikaväriinvaihtokammiossa yhtäjaksoisen ruiskutusprosessin kestäessä yli 2h 40 min (41) ja patruunasuodatinkammiossa 22h 20 min (42).

$$277,5 \text{€} \times \frac{1}{7,3 \frac{\text{€}}{\text{kg}}} \times \frac{1}{0,5} = 76,03 \text{ kg} \quad (39)$$

$$2350 \text{€} \times \frac{1}{7,3 \frac{\text{€}}{\text{kg}}} \times \frac{1}{0,5} = 643 \text{ kg} \quad (40)$$

$$76,03 \text{ kg} \times \frac{1}{0,48 \frac{\text{kg}}{\text{min}}} = 158,4 \text{ min} \approx 2 \text{ h } 40 \text{ min} \quad (41)$$

$$643 \text{ kg} \times \frac{1}{0,48 \frac{\text{kg}}{\text{min}}} = 1339 \text{ min} \approx 22 \text{ h } 20 \text{ min} \quad (42)$$

6.2. Mittaustulosten analysointi

Diplomityössä oli tavoitteena määritellä patruunasuodatinkammiossa ja pikaväriinvaihtokammiossa tapahtuvan väriinvaihdon kannattavuus ja määritellä tietyn kammion soveltumisen tietyille tuotantomäärälle. Mittaukset ja tulosten analysointi -kappaleessa esitetään molempien kammioiden hankintakustannukset sekä laskentakorkokanta, joka vertailussa käytetään. Kappaleessa arvioidaan työvoimakustannusten, energiakustannusten, jauhemaalien hintoja. Nämä hinnat ja laskelmat on suositeltavaa toistaa maalauskammiainvestointia mietittäessä.

Investoinnin kannattavuutta arvioitiin kahdella eri investointilaskelmamenetelmällä, nykyarvomenetelmällä ja annuiteettimenetelmällä. Nykyarvomenetelmän perusteella investointikustannukset diskontataan nykyhetkeen tietyllä korkokannalla. Annuiteettimenetelmässä kulut jaetaan pitovuosille yhtä suuriksi eriksi. Pikaväriinvaihtokammion hankintahinta on huomattavasti suurempi investointi kuin patruunasuodatinkammion. Kuitenkaan vuosittaiset tuottovaatimukset 15 vuoden pitoajalla eivät eroa toisistaan kovinkaan suuresti. Pikaväriinvaihtokammiolla vuosittainen tuottovaatimus edellä

esitetyllä korkokannalla on 25700€ (Taulukko 5.3) ja patruunasuodatinkammioilla 17520€ (Taulukko 5.4). Herkkyysanalyysi- kappaleessa on kuitenkin tarkasteltu esimerkiksi taloudellisesta tilanteesta johtuvia epävarmuustekijöitä. Jos maalausammioiden pitoaika pienenee kahdella vuodella tai tuottoja ei saada ollenkaan niiltä vuosilta, on tuottovaatimus tällöin pikavärikammioilla 27830€ (26) ja patruunasuodatinkammioilla 18975€ (27). Herkkyysanalyysin perusteella voidaan päätellä, että pitoajan lyhentämisellä ei ole suurta merkitystä investoinnin vuosittaisiin kokonaiskustannuksiin.

Maalausammioiden käyttökustannuksia arvioidaan muuttuvien- ja kiinteiden kustannusten avulla. Kiinteät kustannukset ovat kustannuksia, jotka eivät muutu tuotannon muuttuessa. Kiinteät kustannukset on esitetty kappaleessa 5.4. Muuttuvat kustannukset taas riippuvat tuotantomääristä ja ovat sitä suuremmat, mitä enemmän maalausammioissa maalataan tuotteita. Muuttuvat kustannukset muodostuvat muun muassa käytetystä maalimäärästä sekä energiakustannuksista. Maalaamon suurin muuttuviin kustannuksiin kohdistuva erä on kuitenkin työvoima ja energiakustannukset.

Kustannuslaskelmien perusteella on havaittavissa, että suurimmat kustannukset värienvaihdon aikana muodostuvat menetetystä myynnistä ja tuotannon seisottamisesta sekä maalaamon komponenttien energiakustannuksista. Maalaamon seisottamisesta koituu kustannuksia pikavärienvaihtokammion tapauksessa $2126 \frac{\text{€}}{\text{h}}$ (16) ja patruunasuodatinkammion tapauksessa $2126 \frac{\text{€}}{\text{h}}$ (17), joten linjan seisottamista tulee välttää. Värienvaihdon yhteydessä tuotantoa joudutaan kuitenkin seisottamaan ja ammioiden siivoukseen kuluu aikaa pikavärienvaihtokammiossa 15 minuuttia ja patruunasuodatinkammiossa 120 minuuttia. Tämä tarkoittaa edellisessä kappaleessa esitettyjen kustannusten ja ruiskutusmäärän perusteella värienvaihdon olevan kannattavaa pikavärienvaihtokammiossa 5 tunnin (22) ja patruunasuodatinkammiossa 40h (23) päästä. Herkkyysanalyysien perusteella voidaan sanoa, että vain menetetystä tuotannosta aiheutuvat kustannukset ovat merkittäviä. Värienvaihtoajan pienentäminen 10 minuuttiin johtaa värienvaihdon kannattavuuteen jo 3 tunnin ja 21 minuutin (30) päästä. Patruunasuodatinkammioilla taas värienvaihto on kannattavaa vasta 27 tunnin (31) kuluttua.

Edellisen perusteella voidaan sanoa, että maalattaessa värisävyjä, joiden ruiskutus kestää alle 5 tunnin, kannattaa väri vaihtaa vain jauheletkut puhdistamalla ja pitää kammion pohjalla olevaa jauhetta jätejauheena. Tällöin tulee kuitenkin vastaan jätejauheen hävittämisestä koituvat kustannukset. Tutkimuksissa ei otettu huomioon jätejauheen siivoamisesta aiheutuneita kustannuksia.

Herkkyysanalyysin mukaan värienvaihtoon kuluvaa aikaa tulisi yrittää järjestelmällisesti pienentää, jolloin värienvaihdon kannattavuus nousee suuresti. Jos värienvaihto pystytään tekemään 10 minuutissa, on tietyn värisävyän ruiskutusaika tällöin 3 tuntia 21 minuuttia. Jos ammioiden siivoukseen kuluvaa aikaa yritetään lyhentää, kasvaa mahdollisuus värienvaihdon epäonnistumiseen. Jos siivoukseen ei panosteta kunnolla ja lyhennetään valmistajien ilmoittamaa värienvaihtoaikaa, voi tuloksena olla värisävyjen sekoittumista maalatuissa tuotteissa.

6.2.1. Pikavärinvaihtokammion hankinnan kannattavuus

Pikavärinvaihtokammiossa on kiinnitetty erityistä huomiota maalausammion materiaaliin sekä muotoiluun siivoustyön helpottamiseksi. Kammion materiaali on sähköä johtamatonta PVC- muovia ja kammion rakenteeseen ja muotoiluun on kiinnitetty huomiota värinvaihtoja ajatellen.

Pikavärinvaihtokammion hankinta tulee kannattavaksi, kun yrityksellä on käytössään selvä joukko vakiovärejä. Noin 4-5 kappaletta. Vakiovärien ruiskutusajat ovat pitkiä ja ne kestävät pääsääntöisesti yli 5 tuntia. Pikavärinvaihtokammion soveltuva jauhemaaloin kulutus vuodessa tulee olla yli 20 000 kg. Tällöin kammio on päivittäin käytössä vähintään 4 tuntia. Pikavärinvaihtokammion hankinta on kannattavaa maalattaessa kappaleita, joissa on pieni siirtohyötysuhde ja ohiruiskutetun jauhemaaloin määrä on suuri. Pikavärikammion kerätty ohiruiskutettu jauhemaaloin on helpommin käsiteltävissä kuin patruunasuodatinkammion, mutta talteenottolaitteista palautuva kierrätysjauheen koko muuttuu kierrätyksen yhteydessä ja varauskyky heikkenee.

Värinvaihtoon kuluva aika saadaan pienennettyä, mutta riski epäonnistuneelle värinvaihdolle kasvaa. Pikavärinvaihtokammion syntyä myös jätējauhetta maalattaessa pieniä eriä värejä, joita ei ole tarkoitus kerätä talteen.

6.2.2. Patruunasuodatinkammion hankinnan kannattavuus

Patruunasuodatinkammio on yksinkertainen maalausammio, jonka hankinta tulee kannattavaksi, kun yrityksen jauhemaaloin kulutus on maksimissaan noin 20 000kg vuodessa. Patruunasuodatinkammiot ovat yleisesti käytössä alihankintamaalaaamoissa, joissa ei ole omia tuotteita. Maalaamon tehtävänä on tuoda lisäarvoa esimerkiksi yritykselle, jonka valmistaa ohutlevytuotteita. Maalattavat erät ovat yleensä pieniä, eikä koko päivän yhtäjaksoisia maalaustapahtumia yleensä tule. Maalaamossa keskitytään tuotannon tehokkuuteen, eikä värisävyjen talteenottoon kiinnitetä huomiota. Patruunasuodattimella varustetussa maalaamossa voi myös olla suuria maalattavia eriä, joista väri halutaan ottaa talteen, mutta tällöin maalataan pääsääntöisesti tiettyjä vakiovärejä. Kulutuselektronikan tapauksessa talteen otettuja värejä suositellaan käytettävän harkiten uudelleenmaalauksessa. Tuotantomäärän lisääntyessä myös ohiruiskutetun jauheen hävittämisestä koituvat kustannukset tulevat merkittäväksi.

Patruunasuodatinkammion hankintaa tulee arvioida kriittisesti, jos ohiruiskutetun jauheen määrä ylittää vuodessa 5000kg.

7 YHTEENVETO

Diplomityössä tutkittiin väriinvaihdon kannattavuutta kahdella eri maalijauheen uudelleentaltiointimenetelmällä. Tutkimuksen kohteena olivat pikaväriinvaihtokammio ja patruunasuodatinkammio. Pikaväriinvaihtokammio on investointina patruunasuodatinkammiota kalliimpi, mutta siinä väriinvaihtoon kuluva aika on vastaavasti lyhyempi. Väriinvaihdon kannattavuutta vertaillaan investointikustannusten ja käyttökustannusten perusteella. Tuloksista havaitaan, että suurin yksittäinen kustannuserä väriinvaihdon aikana syntyy menetetyistä tuotannosta. Väriinvaihdon kestoksi oletetaan pikaväriinvaihtokammiossa 15 minuuttia ja patruunasuodatinkammiossa 120 minuuttia. Linjan seisottamista tulee välttää.

Väriinvaihtoprosessin kannattavuuteen vaikuttaa myös maalattavien kappaleiden muoto. Ne kappaleet, joilla on suuri siirtohyötysuhde pidentävät väriinvaihtoaikaa ja vastaavasti kappaleen vaikeasta muodosta johtuva suuri ohiruiskutusmäärä lyhentää tuloksista saatua aikaa. Lisäksi myös ruiskutuslaitteiden suuttimien muodolla on suuri merkitys ohiruiskutukseen. Väärät suuttimet lisäävät ohiruiskutusta.

Kammioiden vertailussa oli haasteellista erotella kammiotyypit toisistaan ja löytää niistä eroavaisuuksia, joilla on vaikutusta väriinvaihtoprosessiin. Tutkimuksessa otettiin huomioon menetetty tuotanto, jolloin oletetaan, että maalaamo toimii täysin kuormitettuna. Jos maalattavia kappaleita maalaamossa ei ole, väriinvaihdon kannattavuus kasvaa, jos maalaamo muuten seisoisi tyhjänä.

Mittauksista on pääteltävissä, että tutkituilla kammioilla väriinvaihto on kannattavaa pikaväriinvaihtokammion tapauksessa 5 tunnin yhtäjaksoisen ruiskutusprosessin jälkeen sekä patruunasuodatinkammiossa 40 tunnin kuluttua. Ruiskutusaikojen ollessa lyhyemmät, kannattaa väri vaihtaa vain jauheletkut puhdistamalla ja käsitellä ohiruiskutettua jauhemaalaa jätejauheena. Väriinvaihdon kannattavuutta nostaa edullisempaan suuntaan pikaväriinvaihtokammion tapauksessa kappaleet, joiden ruiskutushyötysuhde on huono tai käytetty jauhemaalaa on hyvin kallista. Väriinvaihdon kannattavuutta taas huonontaa levymäiset kappaleet, joiden ruiskutushyötysuhde on hyvä, kammioissa tapahtuu useita väriinvaihtoja tai käytetty jauhemaalaa on hyvin edullista.

Erityisesti tulisi panostaa laadukkaisiin ruiskutuslaitteisiin, joilla jauhemaalain siirtohyötysuhteet ovat suuria. Myös kappaleiden ripustamiseen tulee kiinnittää huomiota ja pyrkiä kaikin tavoin siihen, että ohiruiskutusta ei tapahdu.

8 LÄHTEET

- [1] The Development and diffusion of powder coatings in the United States and Europe: 1950- 2000. [WWW]. [Viitattu 4.1.2013]. Saatavissa: http://www.researchgate.net/publication/228590220_THE_DEVELOPMENT_AND_DIFFUSION_OF_POWDER_COATINGS_IN_THE_UNITED_STATES_AND_EUROPE/file/32bfe50d85b7c814af.pdf
- [2] Powder coating economics explored: To reclaim or not to reclaim. [WWW]. [Viitattu 4.1.2013]. Saatavissa <http://powdercc.com/images/pdf/Powder%20coating%20economics%20explored-%20to%20reclaim%20or%20not%20to%20reclaim.pdf>
- [3] Electrostatic powder coatings, [WWW]. [Viitattu 4.1.2013]. Saatavissa http://www.accessscience.com/content/Electrostatics/227100_.
- [4] Powder coatings industry overview, [WWW]. [Viitattu 4.1.2013]. Saatavissa http://www.malvern.com/ProcessEng/industries/powder_coatings/overview.htm
- [5] Evaluation of Waste Powder Coatings in Home Appliances Industry
- [6] Metallituotteiden maalaus, Isto Jokinen, Asko Kuusela, Tapani Nikkari
- [7] Pinnalla 2 Metallituotteiden maalaus, Isto Jokinen, Asko Kuusela, Tapani Nikkari
- [8] Investoinnin kannattavuuslaskenta [WWW]. [Viitattu 4.1.2013]. Saatavissa http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pls.pdf
- [9] First pass transfer efficiency [WWW]. [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa <http://www.pfonline.com/articles/improving-first-pass-transfer-efficiency>
- [10] Investointilaskelmat. [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>
- [11] Tuotekustannuslaskelmat. [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/4.+Tuotekustannuslaskenta>

- [12] Thermoplastic powder coatings. [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.pcimag.com/articles/94200>

- [13] Future trends. [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.specialchem4coatings.com/tc/powder-coatings/?id=trends>

- [13] Dispersing the powder coat waste problem on journey to zero landfill [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.greenmanufacturer.net/article/machinery-and-equipment/dispersing-the-powder-coat-waste-problem-on-journey-to-zero-landfill>

- [14] Vertical powder coating lines [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: http://www.trevisan.com/pdf/vertical_coating_lines.pdf


- [15] APPLICATION VARIABLES FOR POWDER COATING SYSTEMS [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.nordson.com/en-us/divisions/industrial-coating/Literature/Powder%20Documentation/White%20Papers/PWR0669.pdf>

- [16] ITW- Gema History [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.gemapowdercoating.us/InfoCenter/AboutUs/OurHistory.aspx>

- [17] Magic Compact EquiFlo. The efficient solution with superior technology [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: http://www.gemapowdercoating.com/Portals/0/media/PDF2013/Prospekte2013/MagicCompactEquiFlow_009697_72dpi_en.pdf

- [18] Thermosettings powder coatings. [WWW] [Viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: <http://www.pcimag.com/articles/93858>

Liite 1: Testimaalausraportti

Powder Supplier				TOP COAT			
				REFERENCE	INFRALIT PE 8350-15 QZ85500K20		
				COLOUR	RAL 7015 GL		
				TYPE	POLYESTER		
				FINISH	GLOSS 71-85		
				BATCH	13296-2-* -1		
Burn in Temperature 180°C				Burn in Time 20 Min			
Coating Parameters							
Conveyor speed 0.8 m/min							
Station 1		Station 2		MAGIC COMPACT BOOTH			
Moving guns	1+2	Moving guns	1+2	Hand gun	1	Moving guns	---
Powder output [%]	15	Powder output [%]	15	Powder output [%]	30	Powder output [%]	---
Total Air [Nm3/h]	5.0	Total Air [Nm3/h]	5.0	Total Air [Nm3/h]	3.5	Total Air [Nm3/h]	---
Rising Air [Nm3/h]	0.2	Rising Air [Nm3/h]	0.2	Rising Air [Nm3/h]	0.2	Rising Air [Nm3/h]	---
Voltage [kV]	60	Voltage [kV]	60	Voltage [kV]	100	Voltage [kV]	---
Current [μA]	30	Current [μA]	30	Current [μA]	100	Current [μA]	---
Axis							
Stroke Z [mm]	1500	Stroke Z [mm]	1500	Stroke Z [mm]	---	Stroke Z [mm]	---
Speed [cm/s]	029	Speed [mm/s]	029	Speed [mm/s]	---	Speed [mm/s]	---
Cycle [s]	10.50	Cycle [s]	10.50	Cycle [s]	---	Cycle [s]	---
Distance between guns and objects	200	Distance between guns and objects	200	Distance between guns and objects	---	Distance between guns and objects	---
Coating procedure							
Target: Film thickness on top coat 100 μm within limits of 80-120 μm							
Coating procedure:							
<ul style="list-style-type: none">• Different booth system and different colour.• All guns equipped with flat jet nozzle NF8 and Supercorona®.• Powder hoses length 15 mm and Ø 11 mm.• Powder output measured – 30% = 120 gr/gun/min• Pre-touched with a manual gun in all difficult areas (see Fig.1)							
Total thickness (Zink + grey): av. 216 min. 170μm max. 253μm							

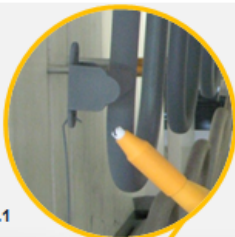


Fig.1

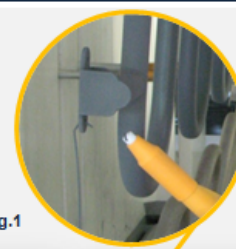


Fig.1

LIITE 2: INVESTOINTILASKELMAT

Vuosi	Investointi	Nettotulot	Diskonttaustekijä	Nettotulon nykyar-
				vo
0	-450 000			
1		52600	0,926	48707,6
2		52600	0,857	45078,2
3		52600	0,794	41764,4
4		52600	0,7351	38666,26
5		52600	0,682	35873,2
6		52600	0,63	33138
7		52600	0,5834	30686,84
8		52600	0,54	28404
9		52600	0,5	26300
10		52600	0,4632	24364,32
11		52600	0,4289	22560,14
12		52600	0,3971	20887,46
13		52600	0,3677	19341,02
14		52600	0,3447	18131,22
15		52600	0,3152	16579,52
Nettonykyarvo				450482,18

LIITE 3: INVESTOINTILASKELMAT

Vuosi	Investointi	Nettotulot	Diskonttaustekijä	Nettotulon nykyarvo
0	-380 000			
1		44450	0,926	41160,7
2		44450	0,857	38093,65
3		44450	0,794	35293,3
4		44450	0,7351	32675,195
5		44450	0,682	30314,9
6		44450	0,63	28003,5
7		44450	0,5834	25932,13
8		44450	0,54	24003
9		44450	0,5	22225
10		44450	0,4632	20589,24
11		44450	0,4289	19064,605
12		44450	0,3971	17651,095
13		44450	0,3677	16344,265
14		44450	0,3447	15321,915
15		44450	0,3152	14010,64
Nettonykyarvo				380683,135